

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PAULO EDUARDO KIRRIAN FIEDLER

**POLUIÇÃO SONORA NOS EIXOS ESTRUTURAIS DE TRANSPORTE DA CIDADE
DE CURITIBA - PR**

**CURITIBA
2013**

PAULO EDUARDO KIRRIAN FIEDLER

**POLUIÇÃO SONORA NOS EIXOS ESTRUTURAIS DE TRANSPORTE DA CIDADE
DE CURITIBA -PR**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Ing – Paulo Henrique Trombetta Zannin

CURITIBA

2013



TERMO DE APROVAÇÃO

PAULO EDUARDO KIRRIAN FIEDLER

**“POLUIÇÃO SONORA NOS PRINCIPAIS EIXOS ESTRUTURAIS
DE TRANSPORTE DA CIDADE DE CURITIBA”**

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:

Paulo Henrique Trombetta Zannin
Universidade Federal do Paraná
Orientador

MEMBROS:

Samir Nagi Y. Gerges
Universidade Federal de Santa Catarina

Cristovão Vicente S. Fernandes
Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 04 de março de 2013

AGRADECIMENTOS

A Deus, amigo sempre presente em minha vida.

Ao professor Dr. -Ing.- Paulo Henrique Trombetta Zannin, por compartilhar seu grande conhecimento, pela orientação, dedicação, apoio, honestidade, amizade e atenção.

Aos meus pais, Elen Kirrian Fiedler e Délcio Adolfo Fiedler, e irmãos, Aline Kirrian Fiedler e Carlos Guilherme Kirrian Fiedler, pela compreensão, paciência, apoio e amor.

Ao meu amigo Fernando Bunn pela amizade, apoio e ajuda incondicionais sem os quais essa pesquisa não teria sido realizada.

A minha amiga Karyn Lia Hamad Anjelo pelo incentivo, compreensão e apoio incessante.

Ao amigo David Queiroz de Sant'ana, que me auxiliou com suas notáveis habilidades.

A todos os meus queridos amigos e amigas, Felipe do Valle, Fernanda Ferraz, Gabriele Sturm, Margret Engel, Melina Nagata, Mirre Milanez, Patricia Dias Soares que passaram pelo Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) e colaboraram, de forma direta ou indireta, na realização deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pelo apoio e confiança durante todo este período.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, em especial ao Celmar (secretário), pela disposição e ajuda nos momentos necessários.

Ao CNPq, à Fundação Araucária, ao DAAD (Serviço de Intercâmbio Alemão) e à FINEP, pelo apoio financeiro referente à compra dos equipamentos e softwares de acústica necessários ao desenvolvimento da pesquisa.

RESUMO

Curitiba, como toda grande capital em contínuo desenvolvimento, agrega este componente à sua vida urbana: a poluição sonora caracterizada pelo ruído urbano. O presente estudo tem por objetivo estudar o impacto ambiental sonoro gerado pelo tráfego rodoviário, através de medições *in situ* e mapeamento sonoro, tendo como objeto de avaliação os principais eixos de transporte urbano da cidade de Curitiba. Para tanto foram realizadas as seguintes etapas: 1) definição dos locais avaliados; 2) coleta de dados de campo; 3) tabulação dos dados coletados; 4) mapeamento acústico; 5) proposição de medidas mitigadoras; 6) avaliação de cenários futuros; e 7) avaliação conclusiva. O objeto deste estudo é a avaliação do ruído ambiental em 4 (quatro) trechos importantes da cidade que fazem parte dos Setores Especiais Estruturais. O trecho 1 avaliado faz parte do Setor Especial Estrutural Sul, abrangendo os bairros: Novo Mundo, Portão e Água Verde. O trecho 2 avaliado faz parte do Setor Especial Estrutural Oeste e abrange os bairros: Campina do Siqueira, Bigorriho e Mercês. O trecho 3 avaliado faz parte do Setor Especial Estrutural Sul e abrange os bairros: Seminário, Batel e Centro. O trecho 4 avaliado faz parte do Setor Especial Estrutural Leste e abrange os bairros: Alto da Rua XV, Cristo Rei, Cajuru e Capão da Imbuia. Para caracterizar a poluição sonora nos trechos avaliados, foram realizadas 227 medições em locais diferentes, totalizando mais de 40 horas de medição. As medições sonoras foram realizadas conforme as recomendações da norma NBR 10151/2000. Foi utilizado o software de análise Predictor 8.11 para a realização dos mapas acústicos. Áreas sensíveis ao ruído são as regiões onde as medidas de planejamento e de redução do ruído devem ser executadas prioritariamente. Para identificar essas áreas, foram destacados em cada um dos mapas apresentados os principais hospitais e escolas de cada um dos trechos analisados. Foi avaliado um cenário de referência que representa o “panorama acústico” atual. Foram também criados três cenários hipotéticos e distintos entre si, para avaliar o ruído nas áreas sensíveis. No cenário 1, foi criada a hipótese de que a quantidade de veículos é reduzida em 50% em relação a atual. No cenário 2 foi criada a hipótese da substituição total de ônibus com motor a diesel, por ônibus com motor elétrico. O cenário 3 simula o ruído nas áreas sensíveis considerando o espaço de tempo de 10 anos. Neste cenário foi considerado que a frota de veículos continua a aumentar, segundo as taxas atuais, que são de 5,6% ao ano. Os resultados sugerem que a situação acústica destes trechos caracteriza a existência de poluição sonora. Os cenários apresentados revelaram que as medidas adotadas não foram suficientes para reduzir significativamente os níveis sonoros. Desta maneira, fica evidenciado que apenas uma medida de controle tomada não é suficiente para resolver este problema. É necessário um planejamento de médio e longo prazo, com várias medidas que atuem em conjunto para combater o ruído de forma eficiente.

Palavras chave: poluição sonora, ruído ambiental, mapeamento sonoro, planejamento urbano.

ABSTRACT

Curitiba, as every large capital city under development, adds this component to its urban life: sound pollution caused by urban noise. The present study aimed to investigate the environmental impact caused by road traffic through measurements in situ and noise mapping, with the purpose of assessing the main urban transportation in Curitiba. This involved the following stages: 1) definition of locations to be assessed; 2) data collection in the field; 3) data tabulation; 4) acoustic mapping; 5) proposal of mitigating measures; 6) assessment of future scenarios; and 7) conclusion. The object of this study was the assessment of environmental noise in 4 (four) relevant stretches that are part of Special Structural Sectors. Stretch 1 is a part of the Special Southern Structural Sector and includes these districts: Novo Mundo, Portão and Água Verde. Stretch 2 is a part of the Special Western Structural Sector that includes these districts: Campina do Siqueira, Bigorriho and Mercês. Stretch 3 is a part of the Special Southern Structural Sector and includes these districts: Seminário, Batel and Centro. Stretch 4 is a part of the Special Eastern Structural Sector and includes these districts: Alto da Rua XV, Cristo Rei, Cajuru and Capão da Imbuia. In order to characterize noise pollution in the stretches assessed, 277 measurements were made in different locations, totaling more than 40 hours of measurement. Sound measurements were made according to the NBR 10151/2000 Standard. The analysis software Predictor 8.11 was used in the preparation of acoustic maps. Noise sensitive areas are regions where noise planning and reduction measures should be given priority. In order to identify these areas, the main hospitals and schools were highlighted in each of the stretches investigated. A baseline scenario representing the present “acoustic panorama” was evaluated. Three hypothetical scenarios and distinct from each other were created, in order to assess noise sensitive areas. The hypothesis created for scenario 1 was: the number of vehicles is reduced by 50% compared to the present one. For Scenario 2, it was: total replacement of diesel engine buses with electric engine buses. Scenario 3 simulates noise in sensitive areas considering a time span of 10 years. This scenario considered the ever growing fleet, at a current annual rate of 5.6%. Results suggest that the acoustic situation of these stretches characterizes noise pollution. The scenarios presented revealed that the measures adopted were not sufficient to reduce sound levels significantly. Thus, it becomes evident that one single control measure is not sufficient to solve the problem. It is necessary to make a medium and long term planning considering various measures acting together in order to effectively tackle noise.

Keywords: sound pollution, environmental noise, noise mapping, urban planning.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - A ONDA SONORA FAZ COM QUE AS PARTÍCULAS DE AR SEJAM PENSADAS EM CONJUNTO (COMPRESSÃO) EM ALGUMAS REGIÕES E ESPALHAM-SE (RAREFAÇÃO) EM OUTROS. UM INSTANTE MAIS TARDE, A ONDA SONORA FOI MOVIDA LIGEIRAMENTE PARA A DIREITA.	20
FIGURA 2 - ONDA SONORA COM TOM PURO.....	21
FIGURA 3 - CURVAS DE PONDERAÇÃO A, B E C POR FREQUÊNCIA.....	25
FIGURA 4 – SUPERFÍCIE CILÍNDRICA EM TORNO DE UMA FONTE LINEAR OMNIDIRECIONAL PARA DETERMINAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DA POTENCIA SONORA.	28
FIGURA 5 - ZONEAMENTO E USO DO SOLO DE CURITIBA – 2000.....	31
FIGURA 6 - ESQUEMA DO SISTEMA TRINÁRIO.....	32
FIGURA 7 - SEÇÃO TRANSVERSAL DE ZONEAMENTO EM SETOR ESTRUTURAL...	33
FIGURA 8 - OS SETORES ESTRUTURAIS DE CURITIBA ESTÃO DESTACADOS EM VERMELHO.....	34
FIGURA 9 - EQUIVALÊNCIA ACÚSTICA ENTRE VEÍCULO PESADO E VEÍCULOS LEVES FONTE.	38
FIGURA 10 - POSIÇÃO RELATIVA DA VIA E DO RECEPTOR.	39
FIGURA 11 - DUPLICANDO A DISTÂNCIA ENTRE A VIA E O RECEPTOR, HÁ UM DECRÉSCIMO DE 3 DB NO NÍVEL SONORO.	40
FIGURA 12 - MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO CENTRAL DE BELO HORIZONTE.	48
FIGURA 13 - MAPA DO RUÍDO EM TORNO DE UMA “RODOVIA-GRANDE AVENIDA” DE CURITIBA.	48
FIGURA 14 - MAPA DE RUÍDOS DA REGIÃO CENTRAL DE BELÉM NO HORÁRIO DE 12 ÀS 13 HORAS.	49
FIGURA 15 - MAPA DE RUÍDO DA BR-476 EM CURITIBA-PR.	49
FIGURA 16 - MAPA ACÚSTICO DA REGIÃO CENTRAL DE FLORIANÓPOLIS.	50
FIGURA 17 - MAPA DE RUÍDO DO SETOR DE COPACABANA.	50
FIGURA 18 - MAPEAMENTO SONORO DA REGIÃO DA AVENIDA LINHA VERDE EM CURITIBA-PR.....	51
FIGURA 19 - MAPA ACÚSTICO DA REGIÃO CENTRAL DE CAMPO GRANDE – MS. ..	51
FIGURA 20 - TRECHOS AVALIADOS NOS PRINCIPAIS SETORES ESTRUTURAIS DE CURITIBA.....	60
FIGURA 21 - FOTO TIRADA PRÓXIMA AO TERMINAL DO PORTÃO NO TRECHO 1, NA AV. REPÚBLICA ARGENTINA. AO FUNDO A IGREJA DO PORTÃO.	61
FIGURA 22 - FOTO TIRADA NA RUA FRANCISCO FRISCHMANN A VIA CONHECIDA COMO UMA DAS “RÁPIDAS DO PORTÃO”.....	61
FIGURA 23 - FOTO TIRADA NA RUA PADRE ANCHIETA NO BAIRRO BIGORRILHO NO TRECHO 2.....	62
FIGURA 24 - FOTO TIRADA NA RUA MARTIM AFONSO NO BAIRRO MERCÊS NO TRECHO 2.....	62
FIGURA 25 - FOTO DA AV. VISCONDE DE GUARAPAUAVANOBairro BATEL NO TRECHO 3.....	63
FIGURA 26 - FOTO TIRADA NA SETE DE SETEMBRO NO BAIRRO BATEL NO TRECHO 3.....	63
FIGURA 27 - FOTO DA AV. PRES. AFFONSO CAMARGO NO BAIRRO CRISTO REI NO TRECHO 4.	64

FIGURA 28 - FOTO DA AV. PRES AFFONSO CAMARGO NO BAIRRO CAPÃO DA IMBUIA NO TRECHO 4.....	64
FIGURA 29 - MAPA COM A LOCALIZAÇÃO EXATA DOS PONTOS MEDIDOS NO TRECHO 1 AVALIADO.....	66
FIGURA 30 - MAPA COM A LOCALIZAÇÃO EXATA DOS PONTOS MEDIDOS NO TRECHO 2 AVALIADO.....	67
FIGURA 31 - MAPA COM A LOCALIZAÇÃO EXATA DOS PONTOS MEDIDOS NO TRECHO 3 AVALIADO.....	68
FIGURA 32 - MAPA COM A LOCALIZAÇÃO EXATA DOS PONTOS MEDIDOS NO TRECHO 4 AVALIADO.....	69
FIGURA 33 - DISTÂNCIAS TOMADAS AO POSICIONAR O MEDIDOR EM CAMPO.	70
FIGURA 34 - O EQUIPAMENTO COM O PROTETOR DE VENTO EM UMA DAS MEDIÇÕES.....	71
FIGURA 35 - VISUAL 3-D DAS EDIFICAÇÕES DESENHADAS NO TRECHO1 NO SOFTWARE PREDICTOR.	75
FIGURA 36 - FIGURA 38: NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE. A LINHA SUPERIOR QUE CORTA O GRÁFICO REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PREVISTO NA LEGISLAÇÃO PARA OS PONTOS DE MEDIÇÃO REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM AZUL. A LINHA INFERIOR REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PERMITIDO PARA ZONAS DE SILÊNCIO E ZR-M REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM CINZA.....	81
FIGURA 37 - PONTOS DE MEDIÇÃO DENTRO DAS ZONAS DE SILÊNCIO, NÍVEL MÁXIMO PERMITIDO DE 55 DB(A).....	82
FIGURA 38 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 1 CALCULADO NO PREDICTOR PARA O INDICADOR L_{DAY}	84
FIGURA 39 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 1 CALCULADO NO PREDICTOR, ILUSTRANDO LOCAIS CHAMADOS DE ZONAS SENSÍVEIS, COMO HOSPITAIS E ESCOLAS.....	86
FIGURA 40 - PONTOS DE MEDIÇÃO DENTRO DAS ZONAS DE SILÊNCIO, NÍVEL MÁXIMO PERMITIDO DE 55 DB(A).....	89
FIGURA 41 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE. A LINHA SUPERIOR QUE CORTA O GRÁFICO REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PREVISTO NA LEGISLAÇÃO PARA OS PONTOS DE MEDIÇÃO REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM AZUL. A LINHA INFERIOR REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PERMITIDO PARA ZONAS DE SILÊNCIO E ZR-M REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM CINZA.....	91
FIGURA 42 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 2 CALCULADO NO PREDICTOR PARA O INDICADOR L_{DAY}	92
FIGURA 43 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 2 CALCULADO NO PREDICTOR, ILUSTRANDO LOCAIS CHAMADOS DE ZONAS SENSÍVEIS, COMO HOSPITAIS E ESCOLAS.....	94
FIGURA 44 - PONTOS DE MEDIÇÃO DENTRO DAS ZONAS DE SILÊNCIO, NÍVEL MÁXIMO PERMITIDO DE 55 DB(A).....	97
FIGURA 45 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE. A LINHA SUPERIOR QUE CORTA O GRÁFICO REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PREVISTO NA LEGISLAÇÃO PARA OS PONTOS DE MEDIÇÃO REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM AZUL. A LINHA INFERIOR REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO	

PERMITIDO PARA ZONAS DE SILÊNCIO REPRESENTADAS PELAS BARRAS COLORIDAS EM CINZA.....	98
FIGURA 46 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 3 CALCULADO NO PREDICTOR PARA O INDICADOR L_{DAY}	99
FIGURA 47 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 3 CALCULADO NO PREDICTOR, ILUSTRANDO LOCAIS CHAMADOS DE ZONAS SENSÍVEIS, COMO HOSPITAIS E ESCOLAS.....	101
FIGURA 48 - PONTOS DE MEDIÇÃO DENTRO DAS ZONAS DE SILÊNCIO, NÍVEL MÁXIMO PERMITIDO DE 55 DB(A).....	104
FIGURA 49 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE. A LINHA SUPERIOR QUE CORTA O GRÁFICO REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PREVISTO NA LEGISLAÇÃO PARA OS PONTOS DE MEDIÇÃO REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM AZUL. A LINHA INFERIOR REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PERMITIDO PARA ZONAS DE SILÊNCIO REPRESENTADAS PELAS BARRAS COLORIDAS EM CINZA.....	106
FIGURA 50 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 3 CALCULADO NO PREDICTOR PARA O INDICADOR L_{DAY}	107
FIGURA 51 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 4 CALCULADO NO PREDICTOR, ILUSTRANDO LOCAIS CHAMADOS DE ZONAS SENSÍVEIS, COMO HOSPITAIS E ESCOLAS.....	108
FIGURA 52 - LOCALIZAÇÃO DO HOSPITAL DO TRABALHADOR, DESTACADO EM VERDE, NO BAIRRO NOVO MUNDO, ENTRE AS RUAS ISAAC GUELMANN E AV. REPÚBLICA ARGENTINA.....	110
FIGURA 53 - VISÃO 3D DO HOSPITAL DO TRABALHADOR COM MAPA NA FACHADA DE FRENTE PARA A AV. REPÚBLICA ARGENTINA.....	111
FIGURA 54 - VISÃO 3D DO HOSPITAL DO TRABALHADOR COM MAPA NA FACHADA DE FRENTE PARA A RUA ISAAC GUELMANN.....	111
FIGURA 55 - LOCALIZAÇÃO DO HOSPITAL IPO, DESTACADO EM VERDE, NO BAIRRO ÁGUA VERDE, QUASE ESQUINA ENTRE A RUA GOIÁS E AV. REPÚBLICA ARGENTINA.....	112
FIGURA 56 - VISÃO 3D DO HOSPITAL IPO COM MAPA NA FACHADA DE FRENTE PARA A AV. REPÚBLICA ARGENTINA.....	113
FIGURA 57 - LOCALIZAÇÃO DO HOSPITAL SANTA CRUZ, DESTACADO EM VERDE, NO BAIRRO BATEL.....	114
FIGURA 58 - VISÃO 3D DO HOSPITAL SANTA CRUZ COM MAPA NA FACHADA.....	114
FIGURA 59 - LOCALIZAÇÃO DO HOSPITAL CAJURU, DESTACADO EM VERDE, E DO HOSPITAL MARCELINO CHAMPAGNAT, DESTACADO EM AZUL, NOS BAIRRO CRISTO REI.....	115
FIGURA 60 - VISÃO 3D DOS HOSPITAIS MARCELINO CHAMPAGNAT E CAJURU COM MAPA NA FACHADA.....	116
FIGURA 61 - LOCALIZAÇÃO DO COLÉGIO ESTADUAL PROF. MARIA AGUIAR TEIXEIRA, DESTACADO EM VERDE, NOS BAIRRO CAPÃO DA IMBUIA.....	117
FIGURA 62 - VISÃO 3D DO COLÉGIO ESTADUAL PROF. MARIA AGUIAR TEIXEIRA COM MAPA NA FACHADA.....	117
FIGURA 63 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL DO TRABALHADOR. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 1.....	119

FIGURA 64 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL DO TRABALHADOR. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 1 NA FACHADA DA RUA ISAAC GUELMANN.....	119
FIGURA 65 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL IPO. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 1.....	121
FIGURA 66 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL SANTA CRUZ. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 1.	122
FIGURA 67 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DOS HOSPITAIS CAJURU E MARCELINO CHAMPAGNAT. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 1.....	123
FIGURA 68 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NAS FACHADAS DO COLÉGIO ESTADUAL PROF. MARIA AGUIAR TEIXEIRA. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 1.....	124
FIGURA 69 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL DO TRABALHADOR. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 2.	126
FIGURA 70 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL DO TRABALHADOR. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 2 NA FACHADA DA RUA ISAAC GUELMANN.....	126
FIGURA 71 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL IPO. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 2.....	128
FIGURA 72 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL SANTA CRUZ. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 2.	129
FIGURA 73 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DOS HOSPITAIS CAJURU E MARCELINO CHAMPAGNAT. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 2.....	130
FIGURA 74 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NAS FACHADAS DO COLÉGIO ESTADUAL PROF. MARIA AGUIAR TEIXEIRA. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 2.....	131
FIGURA 75 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL DO TRABALHADOR. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 3.	133
FIGURA 76 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL DO TRABALHADOR. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 3 NA FACHADA DA RUA ISAAC GUELMANN.....	133
FIGURA 77 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL IPO. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 3.....	134
FIGURA 78 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL SANTA CRUZ. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 3.	135
FIGURA 79 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DOS HOSPITAIS CAJURU E MARCELINO CHAMPAGNAT. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 3.....	136

FIGURA 80 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NAS FACHADAS DO COLÉGIO ESTADUAL PROF. MARIA AGUIAR TEIXEIRA. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 3.	137
FIGURA 81 – A FOTO MOSTRA UMA NOVA CONSTRUÇÃO NO BAIRRO CRISTO REI EM FRENTE A AV. PRES. AFFONSO CAMARGO.	140

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPARAÇÃO PARA O NÍVEL DE PRESSÃO SONORA.....	24
TABELA 2 - AJUSTE DOS NÍVEIS BASEADO NAS CATEGORIAS DE FONTE SONORA E PERÍODO DO DIA.....	54
TABELA 3 - NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO (NCA) PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM DB(A).....	56
TABELA 4 - LIMITES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS DE RUÍDO – LEI MUNICIPAL Nº 10.625/02 (L_{AEQ})	58
TABELA 5 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.....	78
TABELA 6 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.....	87
TABELA 7 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.....	95
TABELA 8 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.....	102

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	16
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO	17
1.2.1	Objetivo geral	17
1.2.2	Objetivos específicos	17
1.3	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	18
1.4	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	SOM E RUÍDO	20
2.2	CONCEITOS DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS SONORAS	21
2.3	ESCALAS PARA RUÍDO – O DECIBEL	23
2.4	CURVAS DE PONDERAÇÃO	24
2.5	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA	25
2.6	NÍVEL EQUIVALENTE DE PRESSÃO SONORA	26
2.7	PROPAGAÇÃO SONORA OMNIDIRECIONAL DE FONTES LINEARES	27
3	REVISÃO DA LITERATURA	29
3.1	CARACTERÍSTICAS DA CIDADE DE CURITIBA - PR	29
3.2	SETORES ESTRUTURAIS DE CURITIBA	32
3.3	RUÍDO AMBIENTAL	35
3.3.1	Ruído de tráfego.....	35
3.4	IMPACTOS DO RUÍDO NO MEIO AMBIENTE	37
3.4.1	Impactos e local	37
3.4.2	Determinação da natureza e escala de impactos	37

3.4.3	Avaliação de impactos de ruído	41
3.4.4	Medição de níveis sonoros.....	41
3.4.5	Instrumentos de medição	42
3.4.6	Previsão de níveis de ruído	42
3.5	MAPEAMENTO ACÚSTICO	42
3.5.1	Modelo de ruído rodoviário ISO 9613-2	44
3.6	TRABALHOS SOBRE RUÍDO AMBIENTAL NO BRASIL	48
4	LEGISLAÇÃO E NORMATIZAÇÃO PARA RUÍDO AMBIENTAL.....	52
4.1	NORMAS PARA NÍVEL DE RUÍDO	52
4.2	NORMA INTERNACIONAL ISO 1996.....	52
4.2.1	ISO 1996-1	53
4.2.2	ISO 1996-2.....	54
4.3	NBR 10151 (2000)	55
4.4	RESOLUÇÕES DO CONAMA	56
4.4.1	Resolução Nº. 001 de 08/03/1990 do CONAMA	56
4.4.2	Resolução Nº. 252 de 01/02/1999 do CONAMA	57
4.5	LEI MUNICIPAL DE CURITIBA Nº 10.625 DE 2002	57
5	MATERIAIS E MÉTODO	59
5.1	INTRODUÇÃO	59
5.2	DEFINIÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO	59
5.3	COLETA DE DADOS DE CAMPO	65
5.3.1	Locais de medição	65
5.4	TABULAÇÃO DOS DADOS COLETADOS	73
5.5	MAPEAMENTO ACÚSTICO	73
5.5.1	Confecção dos modelos	74

5.5.2	Calibração do modelo	77
5.5.3	Cálculo do mapeamento	77
6	RESULTADOS	78
6.1	TRECHO 1	78
6.1.1	Tabulação dos dados	78
6.1.2	Mapeamento sonoro	83
6.2	TRECHO 2	87
6.2.1	Tabulação dos dados	87
6.2.2	Mapeamento sonoro	92
6.3	TRECHO 3	95
6.3.1	Tabulação dos dados	95
6.3.2	Mapeamento sonoro	98
6.4	TRECHO 4	102
6.4.1	Tabulação dos dados	102
6.4.2	Mapeamento sonoro	106
6.5	ANÁLISE DAS REGIÕES SENSÍVEIS AO RUÍDO	109
6.5.1	Cenário de Referência	110
6.5.2	Cenário 1	118
6.5.3	Cenário 2	125
6.5.4	Cenário 3	132
6.6	CONSIDERAÇÕES SOBRE OS CENÁRIOS	138
6.6.1	Redução do Impacto Ambiental causado pelo ruído	138
6.6.2	Considerações sobre os mapas de ruído	140
7	CONCLUSÕES	142
7.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	144
8	REFERÊNCIAS	145
9	APÊNDICES	157

1 INTRODUÇÃO

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Nos dias atuais, milhões de pessoas são expostas a ruídos provenientes das mais diversas fontes. O aumento do ruído está ligado diretamente ao alto índice de crescimento demográfico da população urbana e consequente aumento das fontes geradoras de poluição sonora, tais como aumento das atividades de construção civil e aumento do número de veículos em circulação. Nas grandes cidades, a grande causa do ruído urbano é caracterizada principalmente pelo tráfego de veículos (ZANNIN *et.al.*,2002).

O controle do ruído nas cidades é um problema internacionalmente conhecido por suas dificuldades e tem sido estudado intensamente ao redor do planeta (BELOJEVIC & JAKOVLJEVIC, 1997; SCHULTZ,1978; MORILLAS *et.al.*, 2002, SAADU *et.al.*, 1996. ZANNIN & SANT'ANA, 2011).O crescimento das cidades e o aumento no número de automóveis que trafegam no perímetro urbano das metrópoles vêm contribuindo para elevar ainda mais a emissão do ruído no meio urbano. Vários pesquisadores têm buscado caracterizar este ruído e identificar os malefícios que acarretam aos seres humanos, Algumas soluções para diminuição do número de pessoas atingidas pelo ruído estão em prática como a otimização do uso e ocupação de solo nas regiões mais movimentadas, mudanças práticas adotadas por engenheiros de tráfego, a renovação da frota de veículos que tendem a ser mais silenciosos (ZANNIN *et. al.*, 2002; ZANNIN *et. al.*, 2001; MASCHKE, 1999; LAM *et. al.*, 1998; ARANA *et. al.*, 1998, MONTALVÃO *et. al.*, 2011).

O diagnóstico do problema do ruído urbano pode incluir a medição e monitoramento do ruído, a predição através de mapas acústicos, a resposta das comunidades mais atingidas e a mitigação do problema que pode influenciar, inclusive, no uso e ocupação do solo na região afetada.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo geral

O presente estudo tem por objetivo estudar o impacto ambiental sonoro gerado pelo tráfego rodoviário nos principais eixos urbanos da cidade de Curitiba.

A partir dos dados levantados para este trabalho será possível estimar quantitativamente e qualitativamente os níveis de pressão sonoros emitidos em diversos locais da cidade de Curitiba.

1.2.2 Objetivos específicos

1) Identificar e quantificar o nível de ruído urbano nos setores da cidade de Curitiba os setores estruturais.

2) Confrontar os dados de medição com a legislação vigente Lei Municipal de Curitiba nº 10.625 (2002).

3) Verificar a existência ou não da poluição sonora devido ao tráfego rodoviário.

4) Realizar o mapeamento acústico dos trechos avaliados com o intuito de visualizar amplamente o problema do ruído.

5) Caracterizar a qualidade acústica nos setores avaliados, contribuindo assim para que a comunidade disponha de parâmetros atuais quantitativos e qualitativos, alcançados com rigor científico, sobre a poluição sonora ambiental gerada pelo tráfego nessas regiões.

6) Realizar uma predição de possíveis situações futuras, através de cenários, avaliando suas eficiências podendo contribuir para o planejamento urbano;

7) Avaliar quais políticas públicas poderiam ser utilizadas para monitorar e reduzir o ruído urbano na cidade e seu impacto sobre a qualidade de vida dos moradores.

1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A cidade de Curitiba - PR, como toda grande capital em contínuo desenvolvimento, agrega mais este componente à sua vida urbana: a poluição sonora caracterizada pelo ruído urbano. Como pontos principais de geração de ruído de tráfego na cidade de Curitiba têm-se as vias de tráfego rodoviário intenso, caracterizadas pelos eixos estruturais da cidade.

Os efeitos do ruído sobre o bem estar da comunidade são de grande relevância já que a poluição sonora é hoje, segundo a Organização Mundial da Saúde (O.M.S.), o tipo de poluição que atinge o maior número de pessoas no mundo, depois da poluição do ar proveniente de emissões gasosas e da poluição da água (W.H.O., 2003).

A problemática do ruído urbano pode ser considerada um caso de saúde pública (W.H.O., 1999, BABISCH, 2005, BABISCH, 2002; SCHWELA, 2005). Este poluente é responsável por impactos de ordem socioeconômica, tais como: 1) Perda auditiva, 2) Prejuízo das atividades produtivas motivadas por licenças-saúde, 3) Redução da capacidade de trabalho e de aprendizado e 4) Desvalorização imobiliária (W.H.O., 2011).

Para que se adotem medidas que procurem limitar ou diminuir o ruído emitido na fonte (tráfego rodoviário) é necessário, primeiramente, que se conheça o objeto de estudo, fazendo-se uma profunda avaliação do ruído emitido por essa atividade.

Nesse sentido, a criação de um banco de dados é imprescindível para dar continuidade e ampliar a abrangência de estudos sobre a poluição sonora no meio ambiente. Trabalhos acadêmicos mais aprofundados, na área de ruídos emitidos por tráfego rodoviário e com mapas acústicos em cidades, ainda são escassos no Brasil (CALIXTO, 2002; PAZ, 2004; GUEDES, 2005; NARDI, 2008).

1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O tema proposto nesta pesquisa é bastante amplo devido à extensão dos eixos escolhidos para avaliação. Desta forma, foram selecionadas seções de 2 a 3 quilômetros em cada trecho avaliado, procurando direcionar o trabalho nos trechos mais representativos, isto é, com mais tipos de vias diferentes de cada eixo.

Será avaliada somente uma das parcelas constituintes do ruído ambiental, a mais importante: o ruído gerado pelo tráfego de veículos rodoviários.

Na simulação computacional foram consideradas todas as variáveis intervenientes no processo de propagação sonora, de acordo com o que prescreve a norma ISO 9613/2, como por exemplo, topografia, efeitos de reflexão, difração, absorção, sombra acústica, espalhamento. Não foi considerado um fator de correção para a atenuação atmosférica.

Não foram realizadas medições noturnas nem mapas acústicos considerando o período noturno.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SOM E RUÍDO

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (ABNT, 2000, 1987), a definição de som é: “a forma de energia proveniente de um corpo emitindo em uma ou mais direções certos movimentos vibratórios, que se propagam em meios elásticos e que se podem ouvir.”

Segundo Gerges (2000) e Kinsler et.al. (1982), os sons são flutuações de pressão que se propagam em um meio elástico, seja ele sólido, líquido ou gasoso. As flutuações de pressão possuem características de compressão e expansão de moléculas sendo propagadas através de ondas, desde o ponto de origem do som.

Cada partícula que compõe o meio de propagação do som desenvolve um movimento em torno de sua posição de equilíbrio, isto é, a partícula vibrante transmite seu movimento para a partícula adjacente, que também o transmite para a próxima, fazendo com que o som se propague em um meio elástico (exemplificado na Figura 1). A amplitude é o deslocamento máximo da partícula em relação à sua posição de equilíbrio e o período é o tempo decorrido em uma oscilação completa e frequência é o número de vezes que a partícula vibra em um segundo (HARRIS, 1998; KINSLER et.al., 1982).

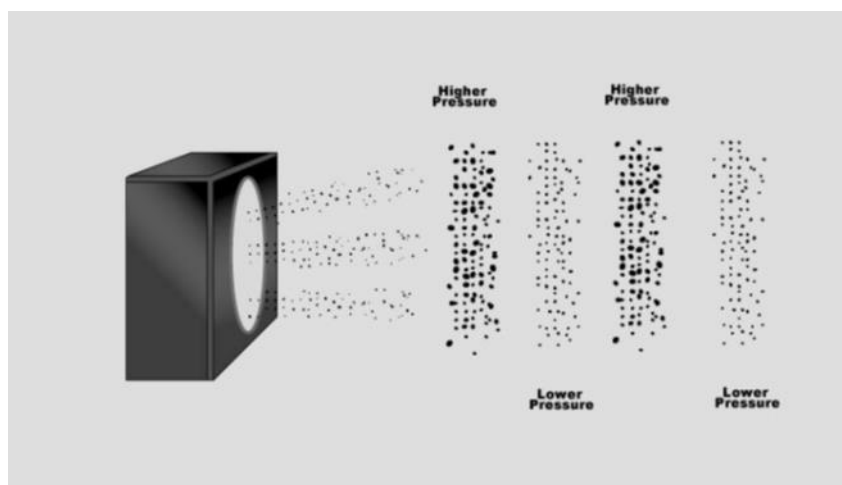


FIGURA 1 - A ONDA SONORA FAZ COM QUE AS PARTÍCULAS DE AR SEJAM PENSADAS EM CONJUNTO (COMPRESSÃO) EM ALGUMAS REGIÕES E ESPALHAM-SE (RAREFAÇÃO) EM OUTRAS. UM INSTANTE MAIS TARDE, A ONDA SONORA FOI MOVIDA LIGEIRAMENTE PARA A DIREITA.

FONTE: Harris (1998)

A propagação das ondas sonoras pode ser de forma harmoniosa, onde a denominamos de som, ou incômoda, denominada de ruído, (HARRIS, 1998; BERANEK & VÉR, 1992), assim, diversos movimentos oscilatórios se combinam e produzem um movimento resultante, cujas oscilações são desarmônicas (GERGES, 2000; KINSLER et.al., 1982).

O ruído é então caracterizado tecnicamente pela ocorrência de várias amplitudes e frequências de forma não harmônica (KINSLER et.al., 1982; HASSALL & ZAVERI, 1979).

O ruído pode ser classificado como ruído ambiente quando se trata de um ruído fora de compasso, associado à um certo ambiente em um tempo específico, sendo usualmente composto pelo som de muitas fontes em diferentes direções, próximas e distantes, incluindo as fontes sonoras de interesse. Ou ainda, como ruído de fundo, quando se refere ao ruído total de todas as fontes que não são a fonte de interesse (HARRIS, 1998).

2.2 CONCEITOS DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS SONORAS

Um movimento contínuo de partículas (vibração) que compõem um meio considerado ilimitado gera uma transmissão de energia, denominada de propagação e a sua forma é denomina-se onda. Para o contexto acústico, a onda de propagação gerada é chamada de onda sonora (Figura 2), que dá origem a um determinado ruído ou som, de maior ou menor intensidade (HARRIS, 1998; BIES & HANSEN, 2002; HASSALL & ZAVERI, 1979).

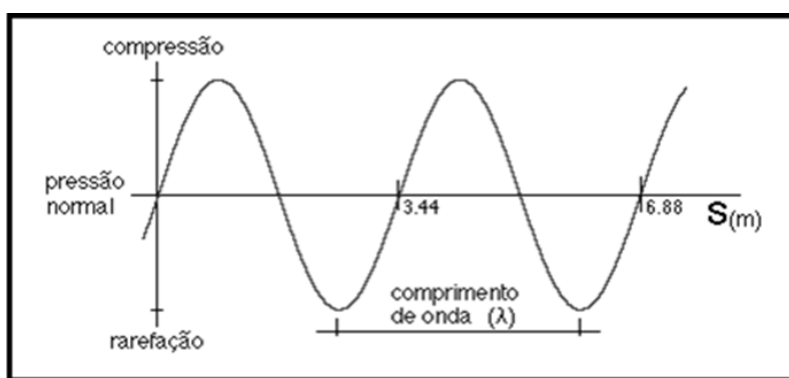


FIGURA 2 - ONDA SONORA COM TOM PURO.

Fonte: Paz (2004)

O ar é geralmente o meio material necessário à propagação dessas ondas sonoras, sendo classificado como uma massa vibrante (HARRIS, 1998; BIES & HANSEN, 2002). Sendo assim, pode-se dizer que o som é produzido diretamente no ar (HASSALL & ZAVERI, 1979; NEPOMUCENO, 1968), ou ainda que o som é um notável acidente do ar (HUNT, 1992).

A velocidade de deslocamento das partículas é chamada de rapidez, e será tanto maior quanto mais intenso for o som, assim a velocidade de propagação da onda é denominada de velocidade do som (BIES & HANSEN, 2002; NEPOMUCENO, 1968). Durante o movimento existem aglomerações e rarefações das moléculas, e estas formam a pressão do som (HARRIS, 1998; NEPOMUCENO, 1968).

O som é uma qualidade perceptiva que é resultada da percepção de distúrbios das moléculas de um meio em certo espaço de tempo. Esses distúrbios, por sua vez, apresentam-se em forma de ondas em sua propagação pelo meio. Para este fenômeno ocorrer há a necessidade de três elementos relacionados em um sistema: Emissor - Meio – Receptor.

O emissor tem a função de produzir um distúrbio no meio, que será percebido pelo receptor. É importante notar que o meio tem influência na qualidade do distúrbio, pois afeta a maneira como este se propaga. Estes distúrbios de natureza mecânicos são pequenas e rápidas variações de pressão do meio, causadas pelo movimento das moléculas, caracterizados por compressões e rarefações (descompressões, expansões). Esse movimento é sempre relacionado com uma onda de pressão que se propaga pelo meio. Ondas mecânicas podem ser de dois tipos: longitudinais, onde as moléculas movem-se na mesma direção de propagação da onda e transversais, quando as moléculas movem-se perpendicularmente a essa direção. As ondas de pressão que caracterizam o som, que podemos chamar de ondas sonoras, são do tipo longitudinal que se propagam por uma série de compressões/descompressões em um meio, normalmente o ar. As ondas transversais são usualmente encontradas nas vibrações de partes de certos instrumentos musicais, como nas membranas (peles de instrumentos de percussão) e cordas (LAZZARINI, 1998).

2.3 ESCALAS PARA RUÍDO – O DECIBEL

O método normalmente utilizado para medir pressão numa escala linear pode não ser a melhor opção quando se trata do ouvido humano. Para se ter ideia, a menor pressão sonora captada na frequência de 1000 Hz que pode ser ouvida, em média, é de 20 μ Pascals, e este valor ficou padronizado como o menor limiar da audição. Já para pressões de aproximadamente 100 Pascals, se encontra o limiar máximo, ou limiar da dor. Desta forma, percebe-se que há uma escala de mais de 1 milhão para 1. Por isto, a aplicação da escala linear não é a mais adequada para medições de pressão sonora (HASSAL & ZAVERI, 1979) .

Como já se sabe, o ouvido humano responde de forma não linear, mas sim de forma logarítmica aos estímulos. Por essas razões, foi escolhida uma escala mais prática para expressar parâmetros acústicos. Essa escala reduz os números para proporções mais adequadas de se trabalhar, essa escala é chamada de Bel, que foi feita em homenagem a Alexander Graham Bell, que é definida como o logaritmo, na base dez, de uma razão de duas potencias ou intensidades acústicas. Mas, como essa unidade ainda muito ampla, optou-se por trabalhar com a décima parte de uma unidade Bel, o decibel.

Dessa forma, o uso do decibel reduz a faixa dinâmica de pressões sonoras da escala de 1 milhão para 1, para uma escala de 0 a 120 decibéis, onde zero indica o limiar mínimo e 120 como o limiar máximo.

A Tabela 1a seguir apresenta alguns valores de comparação de pressão sonora com o nível de pressão sonora.

TABELA 1 - COMPARAÇÃO PARA O NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

PRESSÃO SONORA (μPA)	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA (DB, REFERÊNCIA DE 20 μPA)
20	0
65	10
200	20
640	30
2000	40
6400	50
20000	60
60400	70
200000	80
600400	90
2000000	100
6400000	110
20000000	120

FONTE: Harris(1998)

2.4 CURVAS DE PONDERAÇÃO

Essas curvas surgiram devido ao fato do ouvido humano não ser igualmente sensível ao som em todo o espectro de frequências. Um ser humano exposto a dois ruídos iguais em intensidade, porém distintos em frequência, terá uma sensação auditiva diferente para cada um deles (GERGES, 2000). Um som de baixa frequência é geralmente menos perceptível do que um de alta frequência.

Várias curvas foram então propostas na tentativa de se fazer com que os níveis sonoros captados pelos medidores fossem devidamente corrigidos para assemelharem-se à percepção do som pelo ouvido humano. Essas curvas de compensação foram designadas pelas letras A, B, C, D, etc.

A curva de compensação A é a que mais se assemelha a resposta do ouvido humano, tornando-a mais indicada para estudo do ruído de tráfego, tendo em vista os níveis de pressão sonora e as faixas de frequências predominantes neste tipo de ruído. As curvas de A até C aparecem no gráfico da Figura 3. De acordo com a curva A, um som de 100 Hz é percebido como 19,1 dB menos intenso do que um som de mesma intensidade de 1000 Hz.

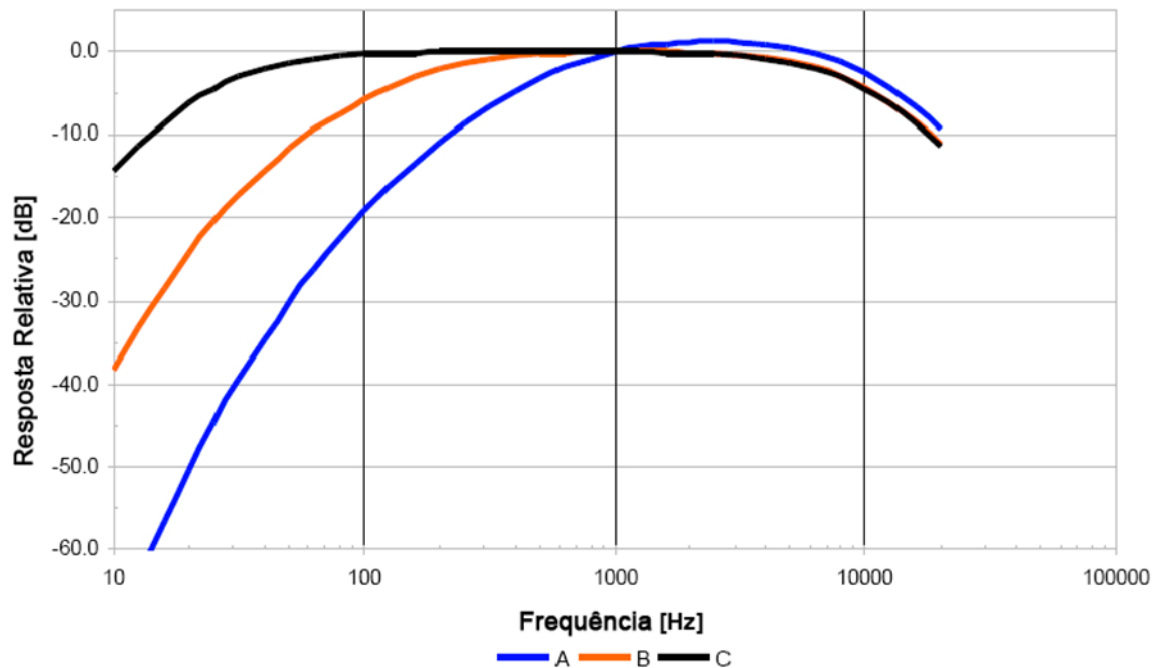


FIGURA 3 - CURVAS DE PONDERAÇÃO A, B E C POR FREQUÊNCIA

FONTE: Adaptado de Pinto (2010)

2.5 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

Por definição, o Nível de Pressão Sonora (NPS), correspondente a pressão de referência, em decibel, é, segundo GERGES (2000) e SHULTZ (1972), dez vezes o logaritmo de base dez da razão entre o quadrado da pressão sonora efetiva pela pressão sonora de referência. Segundo GERGES (2000) o nível de pressão sonora é dado por:

$$NPS = 10 \log \left[\frac{p^2}{p_0^2} \right] \Rightarrow \frac{NPS}{10} = \log \left[\frac{p^2}{p_0^2} \right] \quad (1)$$

Onde,

NPS = Nível de Pressão sonora [dB]

p = pressão sonora devida a uma fonte para uma determinada medição [N/m^2]

p_0 = pressão sonora de referência = 2×10^{-5} [N/m^2]

Para a ocorrência de várias fontes sonoras, tem-se:

$$Fonte\ 1 = p_{(1)}^2 \left[10^{\left(\frac{NPS_{(1)}}{10}\right)} \right] \cdot p_0^2$$

$$Fonte\ 2 = p_{(2)}^2 \left[10^{\left(\frac{NPS_{(2)}}{10}\right)} \right] \cdot p_0^2$$

.

.

.

$$Fonte\ n = p_{(n)}^2 \left[10^{\left(\frac{NPS_{(n)}}{10}\right)} \right] \cdot p_0^2$$

Assim,

$$p_{global}^2 = p_0^2 \left[10^{\left(\frac{NPS_{(1)}}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{NPS_{(2)}}{10}\right)} + \dots + 10^{\left(\frac{NPS_{(n)}}{10}\right)} \right] \quad (2)$$

Logo (BIES & HANSEN, 2002):

$$NPS_{(global)} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{p_{(i)}^2}{p_0^2} \right] [dB] \quad (3)$$

Onde,

$NPS_{(global)}$ = nível global de pressão sonora [dB]

$p_{(i)}$ = pressão sonora média [N/m^2]

p_0 = pressão sonora de referência 2×10^{-5} [N/m^2]

2.6 NÍVEL EQUIVALENTE DE PRESSÃO SONORA

O nível de pressão sonora equivalente é um nível constante médio que equivale, em termos de energia acústica, aos níveis variáveis do ruído durante o período de medição expresso em decibel (dB) e dado por (SHULTZ, 1972):

$$L_{eq} = 10 \log \left\{ \left(\frac{1}{T} \right) \cdot \left[\int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p_{(t)}}{p_0} \right)^2 dt \right] \right\} [dB] \quad (4)$$

Onde,

L_{eq} = nível equivalente de pressão sonora [dB]

$T = (t_2 - t_1)$ = tempo total de duração [s]

$p(t)$ = pressão sonora instantânea

p_0 = pressão sonora de referência 2×10^{-5} [N/m²]

A expressão mostra que o nível equivalente é representado então por um valor constante que durante o mesmo tempo (T) resultaria na mesma energia acústica produzida pelos valores instantâneos variáveis de pressão sonora (SHULTZ,1972).

Quando os níveis de ruído são processados pelo filtro de ponderação "A", o L_{eq} torna-se L_{Aeq} .

2.7 PROPAGAÇÃO SONORA OMNIDIRECIONAL DE FONTES LINEARES

Todos os tipos de fontes sonoras tem uma certa diretividade. O nível sonoro percebido por um observador não depende somente da distância que ele se encontra da fonte, se uma fonte sonora está rotacionada, o nível sonoro muda com o ângulo de rotação.

Segundo Möser (2004), algumas vezes, as fontes sonoras podem ocorrer em uma grande extensão devido a presença de múltiplas fontes pontuais propagando em todas as direções. Por exemplo, trens e vias de tráfego rodoviário bastante movimentadas. A potência sonora é calculada usando uma superfície cilíndrica, como mostra a figura 4, em que l é o comprimento da fonte em linha. O nível resultante é:

$$L_p = L_w - 10 \log \frac{l}{m} - 10 \log \frac{r}{m} - 8dB \quad (5)$$

Ou, se a fonte sonora estiver locada em uma superfície refletiva:

$$L_p = L_w - 10 \log \frac{l}{m} - 10 \log \frac{r}{m} - 5dB \quad (6)$$

Onde:

L_p é o nível de pressão sonora a uma distância r , dado em dB.

L_w é o nível de potência sonora em dB(A).

l é o comprimento da fonte em linha.

Nesta última equação, o nível de pressão sonora decresce 3 dB pelo dobro da distância. Consequentemente, fontes sonoras em linha bastante longas, como rodovias movimentadas, são audíveis em grandes distâncias. O nível sonoro em uma distancia de 1 km, é apenas 16 dB menor do que o nível em uma distancia de 25m. Por exemplo, uma rodovia onde se mede o valor do nível de pressão sonora $L_{eq}(25m)=76$ dB(A) não é um valor para ser desconsiderado porque em uma distancia de 1 km ainda chegam 60 dB(A). Porém a presença de solo, plantas e edificações no caminho aliviam o impacto sonoro causado por uma rodovia.

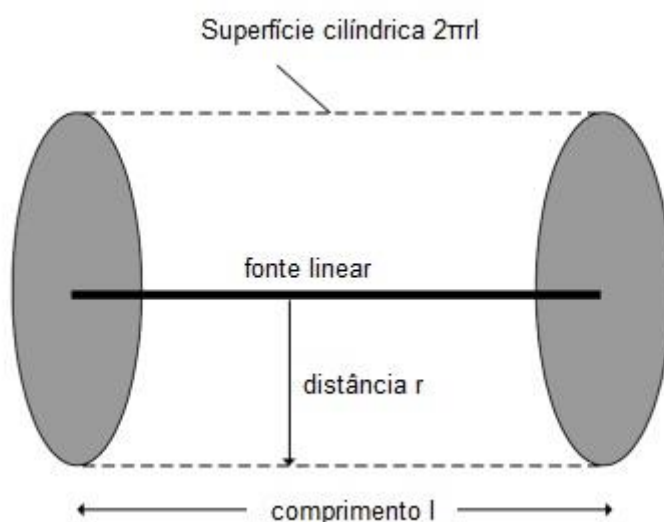


FIGURA 4 – SUPERFÍCIE CILÍNDRICA EM TORNO DE UMA FONTE LINEAR OMNIDIRECIONAL PARA DETERMINAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DA POTENCIA SONORA.
Fonte: Möser (2004)

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 CARACTERÍSTICAS DA CIDADE DE CURITIBA - PR

Curitiba, capital do Estado do Paraná, está localizada na Região Sul do Brasil. Fundada em 1693, ocupa o espaço geográfico de 432,17 km² de área na latitude 25°16'23" S e longitude 49°16'23" W. A Região Metropolitana de Curitiba – RMC - situa-se na porção leste do estado do Paraná, limita-se ao norte com o estado de São Paulo, ao Sul com o estado de Santa Catarina, a Serra do Mar ao leste e a oeste com o segundo Planalto Paranaense.

Curitiba é a cidade polo da Região Metropolitana composta por 29 municípios e que ocupa área de 15.622,33 km². Em 1970 viviam em Curitiba 609.026 habitantes, enquanto que nos demais municípios da RMC, 212.207 habitantes. Em 2000, a capital do estado do Paraná já abrigava uma população de 1.587.315 habitantes, sendo polo de um conjunto de 29 municípios que passaram a compor a RMC, totalizando 2.768.394 habitantes.

O clima da RMC é tipicamente temperado, com a pluviosidade refletindo os efeitos da sua meridionalidade. A temperatura média anual corresponde a 16,5° C, sendo a média do mês mais frio igual a 12,6°C e a do mais quente igual a 20,1° C. A precipitação média anual corresponde a 1413 mm/ano, não apresentando déficit hídrico e as chuvas são bem distribuídas durante o ano, com leve declínio no inverno.

Nas décadas de 1960 e 1970, quando foi aprovado o Plano Diretor de Curitiba, criado o IPPUC e instituída a COMEC, a Região Metropolitana de Curitiba era composta por 14 municípios, com núcleos urbanos ainda bastante contidos dentro de seus limites, e não se verificava um crescimento nas periferias, principalmente na da capital.

Uma série de terraços escalonados é disposta em intervalos altimétricos caracterizando Curitiba com uma topografia ondulada de colinas suavemente arredondadas dando-lhe uma fisionomia relativamente regular. Possui altitude média de 934,6 m acima do nível do mar, sendo que o ponto mais elevado está ao Norte do Município correspondendo à cota de 1.021,00m no bairro Lamenha Pequena, dando-lhe uma feição topográfica relativamente acidentada composta por declividades mais acentuadas, devido à proximidade com a região Serrana do Açungui. Ao Sul do Município

de Curitiba encontra-se a situação de mais baixo terraço, com cota de 864,90 m localizada no bairro do Caximba, na cabeceira do Rio Iguaçu (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2007).

A Lei de Zoneamento e Uso do Solo, de 1975, dividiu a Cidade de Curitiba em Zonas Urbanas e Setores Especiais. Nas Zonas Urbanas, onde o processo de ocupação acontece lenta e continuamente, a própria Lei indicou os parâmetros a serem obedecidos. Para os Setores Especiais, nos quais se pretendia uma ocupação rápida, induziu-se o adensamento, e àqueles onde as condições de uso, meio ambientes ou topográficas requeriam cuidados especiais, foram regulamentados por decretos do Executivo, mediante proposta técnica do IPPUC. Esta postura objetivou dar maior agilidade ao Executivo Municipal no controle ou direcionamento da ocupação desses setores especiais, tais como: setor histórico, fundos de vales, áreas verdes e outros. Outros Setores Especiais poderiam ser criados, desde que justificados pelo interesse público e embasados por estudos técnicos de responsabilidade do IPPUC. (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2007).

A Lei de Uso e Ocupação do Solo foi, ao longo dos anos, acumulando ajustes até que em 2000 ela foi totalmente revista. A Lei 9800/2000 é a lei atualmente em vigor no município e que passou a contar com mecanismos mais eficazes para a expansão urbana. Esta Lei definiu 42 zonas de ocupação agrupadas em zonas de uso misto, residenciais, de serviço, de transição, eixos de adensamento e de habitação de interesse social, de proteção ambiental. Aliada à legislação ambiental, a Lei de Uso e Ocupação do Solo tem possibilitado e viabilizado uma ocupação territorial ambientalmente responsável, fazendo com que as intervenções continuem seguindo o modelo integrado de desenvolvimento (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2001).

gerais e determinou o prazo para a elaboração dos Planos Setoriais de Habitação, Meio Ambiente, Mobilidade, Defesa Social, Econômico e Social com a participação direta da população e de associações representativas de vários segmentos da comunidade na sua formulação, execução e acompanhamento (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2001).

3.2 SETORES ESTRUTURAIS DE CURITIBA

Toda cidade precisa de referenciais, sejam eles naturais ou construídos. Sem grandes recursos naturais como praias ou montanhas e tendo os seus modestos rios canalizados, as Vias Estruturais são os grandes referenciais urbanos de Curitiba (OBA, 2004).

Em Curitiba, o Sistema Viário Estrutural é um trinário composto por: uma via central que contém a canaleta para o transporte de massa e as pistas lentas para atendimento às atividades lindeiras; duas vias externas, paralelas à via central com sentido único de circulação, destinadas ao fluxo contínuo de veículos. Na via central do setor é obrigatória a execução do Plano Massa, que compreende a construção de um embasamento comercial na loja e sobreloja, com galeria na área correspondente ao recuo e em toda a testada do lote (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2008). As figuras 6 e 7 ilustram os sistema trinário e a seção transversal do setor especial estrutural:

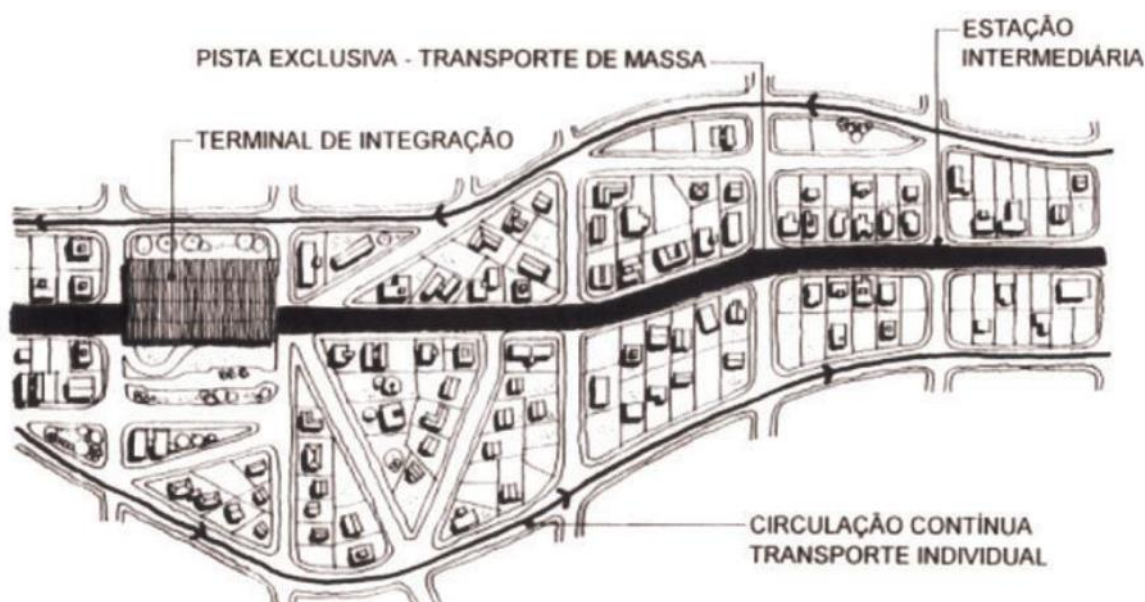


FIGURA 6 - ESQUEMA DO SISTEMA TRINÁRIO

FONTE: Prefeitura Municipal de Curitiba (2008)

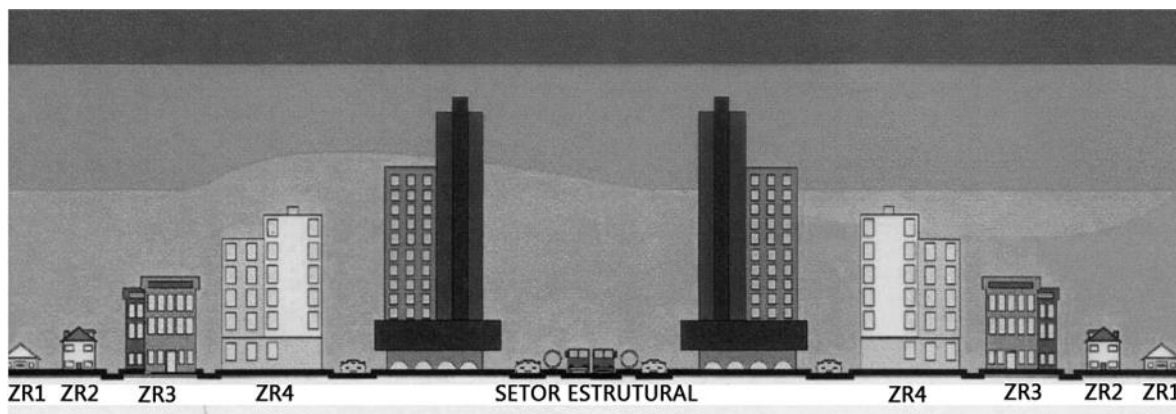


FIGURA 7 - SEÇÃO TRANSVERSAL DE ZONEAMENTO EM SETOR ESTRUTURAL.

FONTE: Adaptado de Prefeitura Municipal de Curitiba (2008)

A cidade de Curitiba possui atualmente quatro grandes Setores Especiais Estruturais:

- Setor Estrutural Norte: tem uma extensão de 6,2 km e começa na área central da cidade e segue até o terminal Santa Cândida, conforme ilustra a Figura 8. Tem predominância de prédios habitacionais e de usos mistos. No restante da área a ocupação é mais rarefeita em termos de edifícios. Este compartimento sofre interferência direta do Cone da Aeronáutica, que limita a altura das edificações em alguns pontos em até no máximo um pavimento.

- Setor Estrutural Sul: com grande volume de tráfego, visto que a partir deste corredor partem os acessos à Zona Industrial e ao Contorno Sul. O fluxo de ônibus urbanos e rodoviários confere um alto grau de saturação de tráfego neste corredor viário, com consequente comprometimento da qualidade ambiental e de segurança. O eixo aparece ilustrado na Figura 8.

- Setor Estrutural Leste: trecho que não possui o trinário. Desenvolvendo-se somente ao norte da Av. Pres. Affonso Camargo, como Via Central, por ter a linha férrea com traçado paralelo ao sul e com o restante das vias classificadas como Outras Vias. Tem no seu interior e no seu entorno polos geradores de tráfego como o Pronto Socorro do Cajuru, situado na Av. São José, avenida que além do tráfego de passagem por ser o caminho que permite a transposição da canaleta, também absorve o tráfego demandado pelo Colégio Bom Jesus instalado em via transversal. O eixo aparece ilustrado na Figura

• Setor Estrutural Oeste: trecho com o trinário instalado, este com continuidade no Setor Especial da Nova Curitiba. De ocupação mais recente, predominantemente de habitação coletiva dentro dos padrões previstos para os Setores Estruturais. A topografia é ondulada dificultando em alguns trechos a implantação do Plano Massa. A Figura 8 ilustra os setores estruturais:

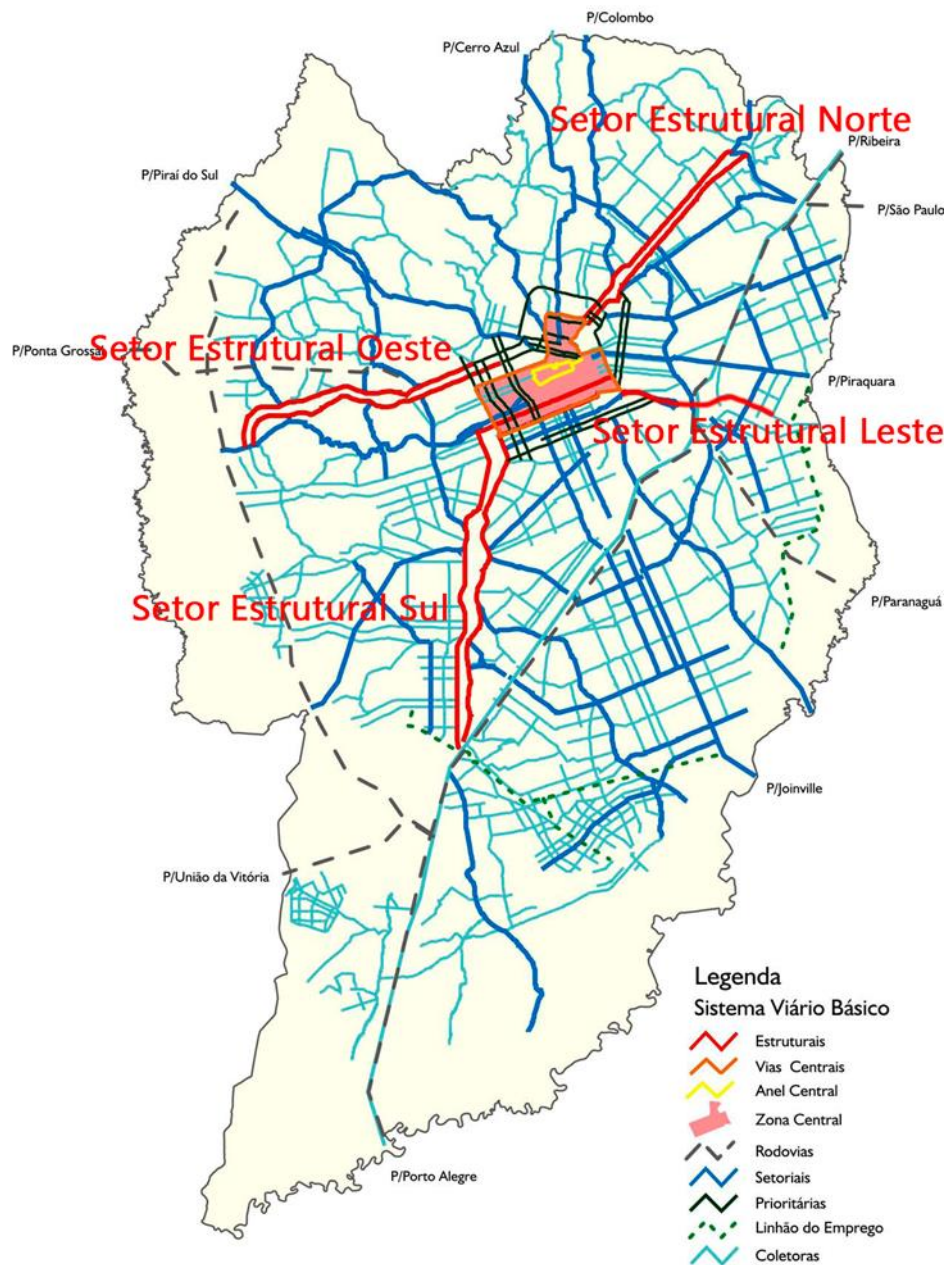


FIGURA 8 - OS SETORES ESTRUTURAIS DE CURITIBA ESTÃO DESTACADOS EM VERMELHO.
 FONTE: Adaptado de Prefeitura Municipal de Curitiba (2008)

3.3 RUÍDO AMBIENTAL

As estimativas atuais sugerem que milhões de pessoas em todo o mundo são afetadas pelo ruído ambiental ou ruído urbano em suas comunidades. (WHO, 2011). Este ruído é cada vez mais percebido, e tem efeitos negativos sobre a qualidade da vida e bem-estar das pessoas ao redor do mundo. E, por causa do seu potencial, pode causar efeitos fisiológicos prejudiciais à saúde (EILLEN, 2007). Com sociedades cada vez mais urbanizadas é inevitável que, a menos que o controle de impacto do ruído seja tratado adequadamente, esta situação só tende a piorar.

Ruído ambiental é o ruído emitido por diferentes fontes, também podendo ser chamado de ruído em comunidade, ruído doméstico e ruído residencial. Excetue-se aqui o ruído produzido no ambiente de trabalho ou ruído ocupacional (RIBAS, 2007).

Fontes de ruído urbano podem ser classificadas em três grupos: estacionários, fontes móveis e coletivas (MIYARA, 2008).

Fontes estacionárias são aquelas que podem ser assumidas como localizadas em um ponto fixo do espaço, por exemplo, uma fábrica, uma máquina, um local de lazer ou uma zona de manobras. Os trabalhos de construção civil em áreas urbanas podem, muitas vezes, serem considerados como fontes fixas.

As fontes móveis em vez disso, podem ser assumidas como fontes pontuais que podem mover-se no espaço. É o caso dos veículos rodoviários, ferroviários e aeronaves.

As fontes coletivas são o resultado da acumulação de fontes em espaços públicos, por exemplo: as pessoas na rua, uma feira na cidade, uma reunião pública, uma praça da cidade ou uma festa popular.

3.3.1 Ruído de tráfego

Orozco-Medina (2010), reportaram relatórios de estudos de Costabal Fagundez mostrando que o tráfego é responsável por cerca de 70% do ruído urbano tornando-o principal fonte de ruído em ambientes urbanos. A maior parte vem de automóveis e as mais relevantes fontes são os veículos pesados, incluindo o transporte público (OROZCO-MEDINA & FIGUEROA MONTAÑO, 2010).

O reconhecimento do ruído do tráfego rodoviário como uma das principais fontes de poluição ambiental levou vários autores a desenvolver modelos que permitem prever o nível de ruído a partir de variáveis fundamentais (GOLMOHAMMADI et.al., 2009; DE DONATO et.al., 2001; JONG-SAN TSAY et.al., 2003; SUBRAMANI et.al., 2012).

O ruído de tráfego é uma parcela do ruído ambiental, sendo uma resultante do somatório de diversos tipos de ruído provenientes de fontes em trânsito (ex.: automóveis, ônibus, trens etc.). Uma pesquisa aponta para o fato de que o tráfego de veículos (ZANNIN et.al., 2002) seja a grande causa do ruído urbano em Curitiba.

Em Curitiba, assim como nas grandes cidades, os automóveis oferecem grande contribuição na emissão do ruído de tráfego, devido ao elevado número em circulação, sendo quase 900 mil em junho de 2012, segundo dados da divisão estatística do DETRAN - PR.

Além de motocicletas, veículos pesados como ônibus e caminhões, também contribuem para a emissão de ruído. O ruído produzido pelos veículos motores rodoviários depende de vários fatores: motor, sistema de escapamento, sistema de exaustão, sistema de refrigeração, modo de dirigir (velocidade, constante aceleração ou desaceleração e tipo de câmbio); tipo de pneu utilizado pelos veículos e meios de propagação do ruído. (ALI & TAMURA, 2002).

O ruído de tráfego rodoviário é composto de duas parcelas básicas: o ruído proveniente da força de tração unitária do veículo e da interação pneu/pavimento (SANDBERG, 1987). A segunda parcela é considerada a mais significativa em relação ao ruído total gerado. Há estudos que comprovam a redução significativa de ruído apenas com a diminuição dos limites de velocidade. (ANNECKE & ZIMMERMAN, 2008; DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1996).

Medidas de tráfego convencionais através de sinais de controle de tráfego e aplicação de limite de velocidade podem ser as melhores opções em grandes centros urbanos e estradas com alto fluxo de tráfego e altas proporções de veículos pesados (ELLEBJERG, 2007).

3.4 IMPACTOS DO RUÍDO NO MEIO AMBIENTE

3.4.1 Impactos e local

Em muitas áreas urbanas, o ruído é um dos mais óbvios impactos na utilização diária de vias de circulação viária. No entanto, os seus efeitos muitas vezes tem prioridade menor do que o impacto económico ou outros impactos ambientais, principalmente porque não são visíveis e são difíceis de quantificar monetariamente. Contudo, a maioria dos seres humanos que sofrem exposição crônica a poluição sonora não estão conscientes de sua presença, e isso pode gerar uma série de problemas como resultado dessa exposição. (KO et.al., 2011; W.H.O., 2011; W.H.O., 1999, ZEYNEP & NEŞE, 2012).

Por conseguinte, é importante entender como o ruído das vias excedem os níveis aceitáveis, e o que pode ser feito para prevenir, mitigar ou compensar os seus efeitos. (ALI & TAMURA, 2002; HOBAN & TSUNOKAWA, 1997).

3.4.2 Determinação da natureza e escala de impactos

Os veículos a motor são inerentemente barulhentos, e os impactos do ruído são inevitáveis em qualquer desenvolvimento de estradas, independentemente da escala ou característica. Os fatores que contribuem para os impactos de ruído são altamente variáveis. Conforme Hoban & Tsunokawa (1997), esses fatores são divididos em seis grupos:

1) Fatores veiculares

Diferentes tipos de veículos produzem diferentes níveis de ruído. Em geral, os veículos pesados, tais como os caminhões de transporte produzem mais barulho do que os carros, pois tendem a ter mais rodas em contato com a estrada (Figura 9), e muitas vezes usam freios motor em desaceleração. A falta de manutenção destes veículos, tais como aqueles com incompletos sistemas de exaustão ou freios muito gastos, são mais

ruidosos do que os bem-cuidados. Além disso, certos tipos de pneus são particularmente ruidosos.

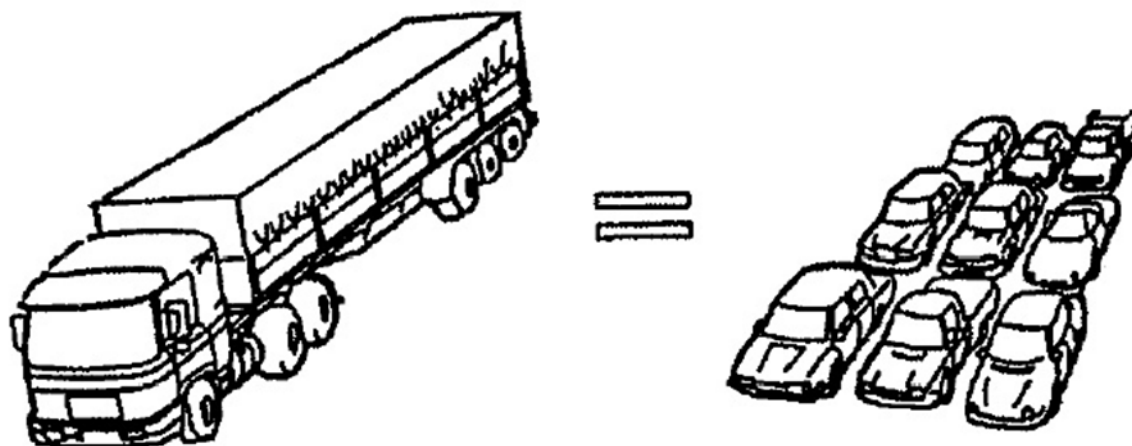


FIGURA 9 - EQUIVALÊNCIA ACÚSTICA ENTRE VEÍCULO PESADO E VEÍCULOS LEVES FONTE.
 FONTE: Hoban & Tsunokawa (1997)

2) Tipos de pavimentos

As características físicas da superfície da via e seus arredores desempenham um grande papel na produção do ruído. Bem conservadas, as estradas de superfície lisa são menos ruidosas do que as rachadas, danificadas, e com superfícies remendadas. (ZANNIN & SANT'ANA, 2011; HOBAN & TSUNOKAWA, 1997; PINTO & MARDONES, 2008; MEIARASHI & ISHIDA, 1996.). As juntas de dilatação em pontes são especialmente barulhentas. Superfícies como solo vegetado tendem a absorver e moderar o ruído, enquanto superfícies reflexivas como concreto ou asfalto não tem função benéfica alguma.

3) Geometria da via

O alinhamento vertical da estrada pode afetar a facilidade com que o ruído pode ser transmitido aos receptores de beira de estrada. Por exemplo, a implantação de uma estrada em um corte abaixo do nível do solo ou sobre uma plataforma elevada pode servir para manter os receptores fora da zona de impacto, conforme é ilustrado na Figura 10. Além disso, a presença de barreiras ao longo da via, se especialmente instaladas para

controle de ruído ou natural, podem diminuir o impacto do ruído rodoviário. Veículos tendem a produzir mais barulho enquanto estão subindo e descendo encostas íngremes, o que significa que as vias que incorporam essas funções tendem a ser mais ruidosas nesses pontos.



FIGURA 10 - POSIÇÃO RELATIVA DA VIA E DO RECEPTOR.

FONTE: Adaptado de Hoban & Tsunokawa (1997)

4) Fatores ambientais

Condições climáticas como temperatura, umidade, velocidade do vento, e direção do vento podem desempenhar um papel importante na determinação de como locais individuais são afetados por ruído rodoviário (NARDI, 2008).

Temperatura e umidade determinam a densidade do ar, que por sua vez afeta a propagação de ondas sonoras. Locais a jusante da direção do vento são geralmente expostos a maiores níveis de ruído do que os locais a montante.

A topografia também pode ajudar a determinar o impacto do ruído. Por exemplo, o ruído das estradas ocorrendo em vales montanhosos ou *canyons* tende a ser mais notável do que o de uma estrada em uma planície, pois o ruído é refletido nas paredes do vale. Da mesma forma, colinas e morros agem como barreiras naturais ao ruído se ocorrerem entre a estrada e os receptores. Estradas acima dos receptores, que muitas vezes são propensas a inundações, tendem a transmitir ruído em distâncias maiores.

5) Relações de espaço

Talvez o maior determinante de impactos de ruído seja a relação espacial da via para receptores de ruído em potencial. Quanto mais próximo o caminho para os

receptores, maior será o impacto (Figura 11). Quanto maior a densidade da população em áreas na beira da via, maior o número de pessoas e receptores, e, conseqüentemente, maior será o impacto.



FIGURA 11 - DUPLICANDO A DISTÂNCIA ENTRE A VIA E O RECEPTOR, HÁ UM DECRÉSCIMO DE 3 DB NO NÍVEL SONORO.

FONTE: Adaptado de Hoban & Tsunokawa (1997)

6) Fluxo de tráfego

A produção de ruído de um particular fluxo de tráfego é determinada por uma série de fatores: o tipo de veículo e seu nível de manutenção, o número de veículos passando por unidade de tempo, a constância do fluxo de veículos- que tendem a ser mais ruidosos em tráfego stop-and-go, e da velocidade de tráfego que é mais ruidoso-em altas velocidades (ANNECKE & ZIMMERMAN, 2008; DEPARTMENT OF TRANSPORT 1996).

A relação entre os ciclos de fluxo de tráfego e ruído ambiente também é importante; os níveis de ruído são geralmente mais baixos durante a noite, e se houver picos de tráfego à noite, o impacto percebido será maior. (TSAY et.al., 2009). Por outro lado, se os picos de tráfego forem ao mesmo tempo em que os níveis de ruído ambientais, os efeitos serão menos perceptíveis (TSAY et.al., 2009).

3.4.3 Avaliação de impactos de ruído

Uma avaliação dos impactos de ruído causados pela circulação rodoviária se baseia em uma análise precisa da base de dados obtida através de medições, em um conhecimento aprofundado das características das vias propostas, e em uma boa compreensão de como a via irá evoluir em um médio e longo prazo.

Ao avaliar o potencial impacto do ruído de uma estrada em desenvolvimento, pode ser considerado o seguinte:

- 1) Os impactos de ruído rodoviário serão maiores onde ruas movimentadas passam por áreas densamente povoadas;
- 2) Se, no início, há indícios de complexos impactos de ruído, a consulta com engenheiro especialista pode ser útil.
- 3) Alguns receptores são mais sensíveis ao ruído do que outros. O ruído da estrada em zonas industriais e áreas não muito habitadas não são particularmente problemáticas, enquanto subúrbios residenciais e localidades específicas, como escolas ou hospitais podem sofrer impactos significativos.(ZANNIN et.al., 2001,2002; RAMIS et. al., 2003; PAZ E.C, 2004; RIBAS, 2007; PINTO & MARDONES, 2008; NARDI 2008; TSAI et.al., 2009; GUEDUES et.al., 2011; ZANNIN & SANT'ANA, 2011; FIEDLER et.al.,2012).

3.4.4 Medição de níveis sonoros

As especificações de medição de ruído requerem definição do período de medição muito bem detalhada (parâmetros de ruído a serem gravados, e a posição do instrumento de medição em relação ao a via e demais objetos adjacentes (muros, edificações, etc). (HOBAN & TSUNOKAWA, 1997; ROMEU et.al.,2011; GOLMOHAMMADI et.al., 2009; OYGUN & GURUN, 2008; YANO et.al., 2001; IZUMI & YANO, 1991).

3.4.5 Instrumentos de medição

Os níveis de ruído existentes podem ser medidos usando dispositivos chamados medidores de níveis sonoros, que convertem a energia das ondas de som em um sinal elétrico, dispondo em tempo real a magnitude do que é apresentado ou gravado (BRUEL & KJAER 2000).

As medições obtidas utilizando estes instrumentos podem formar uma base de dados valiosa, entretanto a sua utilidade adicional é um tanto limitada, tanto em termos de período de amostragem como de sua capacidade de distinguir separadas fontes de ruído, requerendo para isso os dispositivos mais caros e de difícil acesso a grande parte dos profissionais (engenheiros, arquitetos e técnicos).

3.4.6 Previsão de níveis de ruído

Os métodos de previsão incluem equações, modelos de computador, e modelos físicos. Os mais simples são equações, que estimam o ruído das informações sobre o fluxo de tráfego, composição e velocidade. Os modelos de computador são mais amplamente empregados e podem ser utilizados para prever o futuro com mudanças nas condições atuais e os prováveis impactos de um projeto e várias opções de mitigação.

3.5 MAPEAMENTO ACÚSTICO

Um mapeamento acústico ou sonoro é fundamental para o diagnóstico e avaliação de um ambiente sonoro. A confecção de Mapas do Ruído pode tornar-se um instrumento para o controle e redução da poluição sonora e melhoria da qualidade do ambiente sonoro na cidade de Curitiba. Os Mapas de Ruído são utilizados como ferramenta auxiliar para o desenvolvimento sustentável buscando a garantia e a melhoria da qualidade de vida da população urbana.

O controle de ruído através da realização de Mapas Acústicos já vem sendo utilizado com sucesso em diversos países (ANNECKE & ZIMMERMAN, 2008; LEE et.al., 2008; KO et.al., 2011; TSAY et.al., 2009; MURPHY & KING, 2010). Como exemplo, podem-se citar os países membros da União Europeia, a qual em sua Diretiva EU END

2002/49/EC indicou que todos os Estados Membros deveriam apresentar até 30/06/2007 os mapas estratégicos de ruído para aglomerações populacionais com número maior a 250000 habitantes e até 30/06/2012 os mapas estratégicos de ruído para aglomerações populacionais com número maior a 100000 habitantes.

Os Mapas de Ruído permitem a identificação das principais fontes sonoras no meio urbano, assim como a sua quantificação, ou seja, o levantamento dos níveis sonoros emitidos por estas fontes. de uma ou mais regiões.

Para a confecção dos mapas acústicos são utilizados softwares de mapeamento acústico sofisticados. Estes softwares calculam, para um número muito grande de pontos, os níveis de imissão sonora, a partir dos parâmetros do tráfego e das características físicas (topográficas) do local que se está estudando. Assim, eles são capazes de gerar um mapa dos níveis de ruído utilizando uma escala de cores relacionada aos níveis sonoros. Com este recurso, é possível se conhecer os níveis de ruído em qualquer ponto de uma área delimitada, por meio de leitura direta no mapa de ruído.

Além disso, estes programas permitem que sejam simuladas alterações nos parâmetros que determinam tanto a emissão como a imissão do ruído, constituindo-se assim numa poderosa ferramenta, não só para a avaliação do impacto ambiental causado pelo ruído do tráfego, mas também para a avaliação prévia da eficácia de alternativas de controle do ruído que possam ser adotadas. (MANVELL & BANDA, 2006).

Em adição, os mapas acústicos são excelentes ferramentas para o gerenciamento do ruído ambiental, pois eles podem fornecer:

- 1) Uma visão ampla do problema de poluição sonora,
- 2) Uma análise da situação presente e futura dos níveis sonoros,
- 3) Através dos mapas de ruído, pode-se identificar as principais fontes de ruído no meio urbano, assim como quantificar seus níveis sonoros,
- 4) Manutenção permanente de uma base de dados sobre estudos de poluição sonora, o que vem a minimizar as medições de campo, as quais são extremamente onerosas (tempo e dinheiro), e dependentes de condições ambientais propícias para sua realização (por exemplo: ausência de chuvas e tempo úmido).
- 5) Predição de situações futuras, contribuindo para o planejamento urbano:
 - a) Abertura e fechamento de ruas,
 - b) Construção ou desativação de linhas férreas,

- c) Implantação de novas unidades habitacionais,
- d) Implantação de novos estabelecimentos comerciais,

Através destas análises pode-se então construir uma base de dados que serão de grande valia para:

- 1) Elaboração de políticas públicas,
- 2) Elaboração do Zoneamento Urbano,
- 3) Planejamento de Uso do Solo,
- 4) Discussão de legislação pertinente ao controle de emissões (fontes sonoras) e imissões sonoras (níveis sonoros recebidos pela população).

Em um enfoque ambiental, a importância prática que um estudo de ruído urbano traz para a comunidade se dá quando ele é feito de maneira que integre os aspectos da emissão (fonte sonora) com os da imissão sonora (recepção). O cruzamento de dados sonoros emitido pelas fontes com a decorrente avaliação dos níveis efetivamente recebidos pelas pessoas expostas ao ruído em estudo é fundamental para qualquer estudo que pretenda avaliar o impacto ambiental causado pela poluição sonora. (MURPHY & KING 2010; TSAI et.al., 2009; PINTO & MARDONES 2008; FIEDLER et.al., 2012; ZANNIN & SANT'ANA, 2011; PAZ 2004; KO et.al., 2011; ZEYNEP & NEŞE, 2012).

3.5.1 Modelo de ruído rodoviário ISO 9613-2

A exposição da população de interesse para a fonte de ruído pode ser obtida por medições ou através de modelos que calculam a exposição ao ruído com base nas informações sobre a origem e sobre as condições de propagação do som da fonte para o receptor. Tais modelos de cálculo podem também ser utilizados para prever níveis de ruído no futuro com base nas alterações estimados em fontes de ruído.

Com o avanço dos recursos computacionais, uma série de pacotes de software de mapeamento de ruído foram desenvolvidos, como CADNA, ENM, IMMI, Mitra, Predictor-Lima, Noisemap, e SoundPLAN.

O software Predictor® é um software desenvolvido por profissionais de engenharia especialistas em ruído para profissionais que trabalham com ruído. É um

software especializado em simulações de ruídos. A modelagem de ruído engloba o ruído do tráfego, ruído ocupacional, ruído industrial geral e ruído das aeronaves. Muitos padrões de cálculo são implementados para satisfazer as necessidades dos engenheiros de controle de ruído em todo o mundo.

Ao realizar uma predição em qualquer um dos softwares supracitados, deve-se selecionar algum modelo de predição acústica, dentre os modelos rodoviários mais populares estão: o ISO 9613 -1/2 Road, o *Richtlinien für den Lärmchutz an Straßen* (RLS-90) da Alemanha, o método francês NMPB-2008, o *Calculation of Road Traffic Noise* (CRTN) utilizado no Reino Unido, o *Federal Highway Administration* (FHWA) dos Estados Unidos dentre outros.

Optou-se pela escolha do modelo ISO 9613-1/2 Road porque vem sendo amplamente utilizado em diversos trabalhos encontrados na literatura (ZANNIN & SANT'ANA, 2011, LEE et.al., 2008, CHO et.al., 2004; CHO & MUN, 2007, FIEDLER et.al., 2012). Segundo Bies & Hansen (2009), O método ISO é moderadamente complexo e produz resultados de boa precisão.

O módulo de ruído rodoviário ISO 9613-2 presente no software Predictor permite o cálculo e o mapeamento dos níveis de pressão sonora em ambientes externos. A configuração e os cálculos são baseados na norma ISO 9613-2: 1996 intitulada “*Acoustics- Attenuation of sound during propagation outdoors- Part 2*”. Essa norma especifica um método de engenharia que calcula a atenuação do som durante a sua propagação em ambientes externos para predizer os níveis sonoros ambientais em qualquer distância devido a inúmeras fontes sonoras.

Além do mais, é demonstrado na norma como a propagação do som é atenuada ao longo do caminho e como são estimadas as correções para a absorção atmosférica (umidade relativa e temperatura), reflexões, efeitos da topografia do solo, efeitos dos obstáculos (barreiras, edificações e vegetação) além de efeitos de vento e absorção do solo.

As fórmulas de cálculo baseadas na ISO 9613 -1/2 do Predictor são as seguintes:

$$L_{It,per} = L_{dw} - C_m - C_{t,per} \quad (7)$$

$$L_{dw} = L_W - R - A \quad (8)$$

Onde:

$L_{lt,per}$: Nível de pressão sonora em dB(A) de longa duração em oitava (ou 1/3 de oitava) durante o período de avaliação;

C_m : Correção meteorológica em dB;

$C_{t,per}$: Correção para o tempo de atividade da fonte durante o período de avaliação em dB;

L_{dw} : Nível de pressão sonora equivalente contínuo em dB(A) em oitava (ou 1/3 de oitava);

L_W : Nível de potência sonora em dB(A) em oitava (ou 1/3 de oitava);

R: Redução da fonte definida pelo usuário em dB em oitava (ou 1/3 de oitava);

A: Atenuação (por banda de oitava) em dB em oitava (ou 1/3 de oitava);

A atenuação A é calculada da seguinte forma:

$$A = D_c + A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{fol} + A_{site} + A_{hous} \quad (9)$$

D_c : Correção da diretividade em dB;

A_{div} : é a atenuação provocada pela divergência entre a fonte e o receptor em dB;

A_{atm} : Absorção atmosférica em dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{gr} : Atenuação provocada pelo solo em dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{bar} : é a atenuação provocada por obstáculos (edifícios, topografia, muros, etc.) em dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{fol} : Atenuação devido a vegetação e folhagem em dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{site} : Atenuação devido a instalações de uma indústria em dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);

A_{hous} : Atenuação devido a residências em dB.

Antes de o cálculo ser iniciado, os parâmetros de cálculo devem ser definidos. Estes parâmetros são opcionais para o cálculo da correção meteorológica, da atenuação do solo, da absorção de ar e do ângulo de visão usado para dividir as fontes em linha e as estradas em várias fontes pontuais.

Segundo o manual do software Predictor, a parte mais demorada do cálculo é a atenuação A. Para cada combinação de pontos fonte-receptor, o software faz

combinações para todos os caminhos do som de forma direta, assim como todos os caminhos possíveis de reflexão de som em objetos refletoras, tais como edifícios ou barreiras. Somente as reflexões de primeira ordem são levadas em consideração. Todas as distâncias e alturas dos itens (edificações, vegetações, etc.) são determinados, bem como desvios verticais e horizontais. A atenuação e as correções são determinadas com base nos caminhos e desvios do som (BRUEL & KJAER, 2010).

Uma via é um item usado para modelar a emissão do nível de pressão sonora de estradas e vias. Essa emissão pode ser obtida através da potência sonora por metro ou pelo número de veículos por hora, velocidade do tráfego e tipo de pavimento. Os veículos são subdivididos em três categorias: motocicletas, veículos leves e veículos pesados.

Segundo o manual do software Predictor, a potência sonora por categoria de veículos é calculada pelas seguintes equações:

$$L_w = 10 * \log \left(\frac{Q}{V} \right) + a + b * V + C_{wh} \quad (10)$$

$$C_{wh} = \text{Max}(C_w, C_h) \text{ se } C_h < 0, C_w \text{ se } C_h = 0 \quad (11)$$

$$C_h = 5 * \log(ph) - 1,5 \quad (12)$$

Onde:

Q= Número médio de veículos por hora;

V= Velocidade média do tráfego em km/h;

a = Parte da potência sonora gerada por um veículo (não depende da velocidade) em dB(A);

b = Parte da potência sonora gerada por um veículo (depende da velocidade) em dB(A);

C_{wh} : Correção combinada para tipo de pavimento e declividade em dB;

C_w : Correção da superfície (pavimento) em dB(A);

C_h : Correção da declividade em dB;

ph: Declividade em %;

3.6 TRABALHOS SOBRE RUÍDO AMBIENTAL NO BRASIL

Trabalhos acadêmicos mais aprofundados, na área de ruídos emitidos por tráfego rodoviário e com mapas acústicos em cidades, ainda são escassos no Brasil:

Em 2000, uma equipe de pesquisadores da Escola de Engenharia da UFMG, se debruçou para realizar um mapeamento da região central de Belo Horizonte que relacionava ruído com as características do tráfego urbano. O estudo revelou níveis preocupantes, bem acima dos limites recomendados pela OMS - Organização Mundial de Saúde.

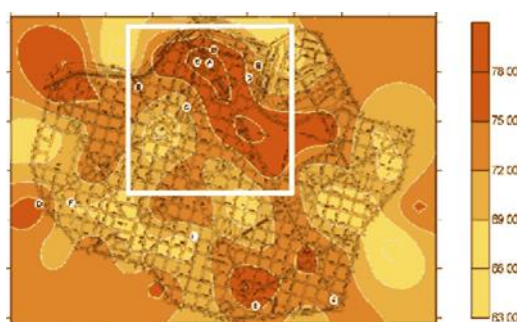


FIGURA 12 - MAPA DE RUÍDO DA REGIÃO CENTRAL DE BELO HORIZONTE.

FONTE: Revista Minas Faz Ciência nº1 (2000)

Calixto, (2002) analisou dois trechos de rodovia em Curitiba através de aspectos objetivos e concluiu que o ruído de tráfego produzia um impacto considerado grande, isto é, a população que vive ou trabalha ao longo destas rodovias, estava submetida a uma condição insalubre. Em adição, ele propôs um modelo matemático para predição dos níveis de emissão sonora para estes trechos quando em função de rodovias, considerando a situação de tráfego misto.



FIGURA 13 - MAPA DO RUÍDO EM TORNO DE UMA “RODOVIA-GRANDE AVENIDA” DE CURITIBA.

FONTE: Calixto (2002)

Em 2003, uma equipe de pesquisadores em Belém no Pará, realizou, a partir de medições dos níveis de pressão sonora equivalente médios, $Leq(A)$, um estudo de poluição sonora com mapas de ruído. Constatou-se que em toda a zona comercial da cidade os níveis de ruído alcançados ultrapassam os índices máximos recomendados pelas normas de qualidade vigente no país.



FIGURA 14 - MAPA DE RUÍDOS DA REGIÃO CENTRAL DE BELÉM NO HORÁRIO DE 12 ÀS 13 HORAS.

FONTE: Moraes et.al., (2003)

Paz (2004) avaliou o ambiente acústico gerado por um trecho urbano de uma rodovia (BR-476), situado em Curitiba-PR, que sofreu um processo construtivo de readequação. Além disso, propôs uma rotina de avaliação e predição acústica em laboratório para o estudo do ruído de tráfego, com dedicação direta a estudos de impactos ambientais devidos a emissões sonoras.

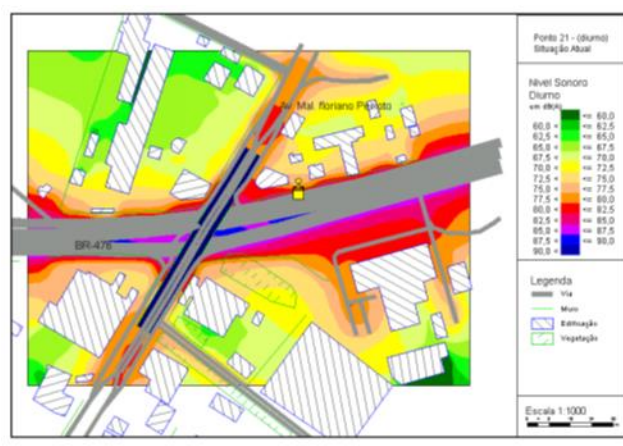


FIGURA 15 - MAPA DE RUÍDO DA BR-476 EM CURITIBA-PR.

FONTE: Paz (2004)

Guedes (2005) discutiu os resultados de um estudo sobre a influência de formas urbanas sobre o ruído ambiental na cidade de Aracaju-SE. O estudo, que envolveu medições in-situ e simulações acústicas usando o software SoundPLAN, iniciou-se com a análise do cenário acústico decorrente, seguida pela criação e simulação de cenários hipotéticos em setores ainda desocupados da região em estudo.

Nardi (2008) realizou um estudo de caso da área central de Florianópolis. A pesquisa se concentrou em um diagnóstico da situação acústica da região através de medições sonoras e mapeamento acústico.



FIGURA 16 - MAPA ACÚSTICO DA REGIÃO CENTRAL DE FLORIANÓPOLIS.

FONTE: Nardi (2008)

Mardones (2009) realizou um mapa de ruído do bairro de Copacabana através de simulação computacional no software Cadna-A e comparou os resultados com medições reais para validação do modelo.

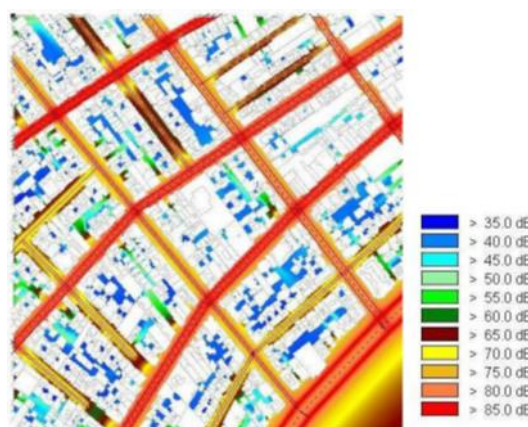


FIGURA 17 - MAPA DE RUÍDO DO SETOR DE COPACABANA.

FONTE: Mardones (2009)

Em 2012 Engel caracterizou a poluição sonora em uma grande avenida de Curitiba através de medições, simulações computacionais utilizando o software Predictor e através de uma análise subjetiva utilizando questionários.

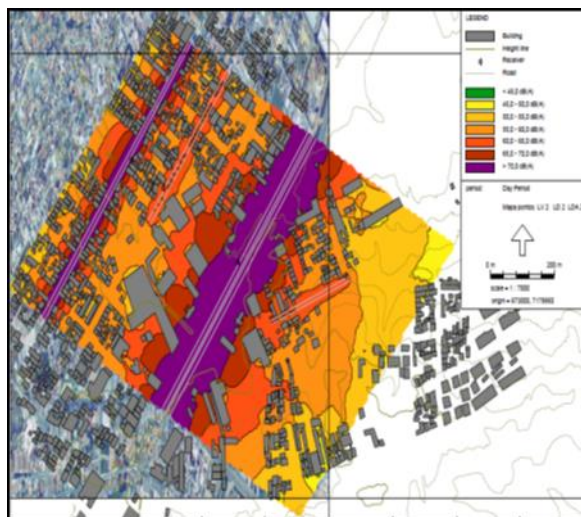


FIGURA 18 - MAPEAMENTO SONORO DA REGIÃO DA AVENIDA LINHA VERDE EM CURITIBA-PR.
 FONTE: Engel (2012)

Souza Filho (2012) realizou a primeira avaliação de poluição sonora da cidade de Campo Grande - MS, o estudo envolveu medições in situ e mapeamento acústico em três regiões da cidade. A conclusão foi de que os níveis estão muito acima do permitido pela legislação local.



FIGURA 19 - MAPA ACÚSTICO DA REGIÃO CENTRAL DE CAMPO GRANDE – MS.
 FONTE: Filho (2012)

A principal diferença deste trabalho em relação aos outros citados anteriormente, é a avaliação da poluição sonora em regiões mais extensas em diversos locais da cidade, além de uma avaliação com mapas de fachada, para detalhar e quantificar de forma mais precisa os níveis sonoros que atingem as fachadas das regiões sensíveis, que são as instituições de ensino (escolas, universidades), as instituições de saúde (clínicas, postos de saúde e hospitais).

4 LEGISLAÇÃO E NORMATIZAÇÃO PARA RUÍDO AMBIENTAL

4.1 NORMAS PARA NÍVEL DE RUÍDO

As normas nacionais especificam o nível de ruído que não deve ser excedido para todos os tipos de zonas tal como Leq "12hr" abaixo de 70 dB (A), ou, provavelmente, diferentes níveis de ruído para diferentes zonas, tais como áreas industriais, urbanas, residenciais ou rurais. Os limites inferiores são geralmente especificados para ruído noturno.

Detalhes das normas de ruído rodoviário são normalmente disponíveis a partir de agências de transporte nacionais. No Brasil, a NBR 10151 (ABNT, 2000) "Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade" que dispõe sobre os limites em cada região e direciona como proceder nas medições, a qual será detalhada no próximo capítulo.

Deve-se observar que as normas e legislações para ruído são aplicáveis para métodos de medição definidos que especificam o local de medição, os equipamentos a serem utilizados e, em alguns casos, a duração da medição. Além do mais, um obstáculo para a conformidade das normas e leis, é de que a medição de ruído é dependente de muitas variáveis, tais como o clima, o tipo, a posição e o número de fontes e receptores.

4.2 NORMA INTERNACIONAL ISO 1996

Esta norma da Organização Internacional de Normalização (*International Organization for Standardization*) é intitulada Acústica- Descrições, medições e avaliação do ruído ambiental (*Acoustics- Description, measurement and assessment of*

environmental noise). Esta norma é dividida em duas partes, sendo a primeira (ISO 1996-1) intitulada Conceitos básicos e procedimentos de avaliação (*Basic quantities and assessment procedure*); e a segunda (ISO 1996-2) com o título de Aquisição de dados pertinentes ao uso do solo (*Acquisition of data pertinent to land use*).

4.2.1 ISO 1996-1

Baseado nos princípios descritos nessa parte dessa norma, normas nacionais, regulamentações e limites aceitáveis para o ruído podem ser desenvolvidos.

Esta parte da norma define os itens básicos a serem utilizados para descrever o ruído em ambientes comunitários e descreve procedimentos básicos de avaliação. Também especifica métodos para avaliar exposição a vários tipos de ruídos ambientais. As fontes sonoras podem ser separadas ou combinadas. A aplicação do método de predição de resposta ao incômodo ao ruído é limitada a áreas onde as pessoas residem e para relacionar o uso do solo em longo prazo.

Esta parte da norma ISO não especifica limites de ruído ambiental. A norma fornece as informações que devem conter em um relatório de ensaios.

A resposta da comunidade ao ruído pode variar entre diferentes fontes sonoras que possuem o mesmo nível de ruído. Essa parte da norma descreve ajustes para sons que tenham diferentes características. Também indica ajustes para horário noturno, fins de semana e feriados, a fim de proporcionar possibilidade de descanso. Esses ajustes podem ser adicionados às medições ou à predição do nível de exposição ao ruído ou ao nível de pressão sonora contínua equivalente.

A Tabela 2 a seguir indica alguns ajustes recomendados:

TABELA 2 -AJUSTE DOS NÍVEIS BASEADO NAS CATEGORIAS DE FONTE SONORA E PERÍODO DO DIA.

TIPO	ESPECIFICAÇÃO	NÍVEL DE AJUSTE
Fonte Sonora	Tráfego Rodoviário	0
	Aeronáutico	3 a 6
	Ferrovário	-3 a-6
	Industrial	0
Característica da Fonte	Impulsivo Regular	5
	Fortemente Impulsivo	12
	Sons Tonais	3 a 6
Período do tempo	Tarde	5
	Noite	10
	Finais de Semana- diurno	5
	(7:00h às 22:00h)	

FONTE: ISSO 1996-1 (2003)

4.2.2 ISO 1996-2

O propósito desta parte da norma é fornecer métodos para a aquisição de dados para descrever o ruído ambiental. Utilizando esses dados como base, autoridades podem estabelecer um sistema para selecionar o apropriado uso do solo conforme os níveis de ruído existentes em determinada área, ou planejar locais que tenham níveis de ruído apropriados ao uso do solo já existente.

Para aquisição dos dados, deve ser considerado:

- Descrição geográfica da área a ser considerada;
- Caracterização das fontes principais existentes na área;
- Descrição da situação do receptor, como localização, ocupação, uso e caracterização do entorno imediato;
- Condições meteorológicas;
- Nível Corrigido (*Rating Level*).

A determinação do nível sonoro médio em longo prazo pode ser feita através de medições, cálculos ou ambos. A técnica de medição a ser utilizada, como por exemplo, a

instrumentação, o número de posições do microfone, a duração do tempo de medição, depende da natureza da fonte e do receptor.

Sobre o mapeamento acústico, a norma prescreve que o mapa de ruído poderá ser estabelecido como mapa oficial, em uma dada escala, descrevendo detalhes relevantes das edificações, instalações de tráfego, áreas industriais, áreas agrícolas, vegetação e curvas de nível.

O mapa pode ter áreas caracterizadas por mesmo ruído, ou apenas ter o contorno de diferença de ruído, ou ter uma combinação de contornos de áreas.

4.3 NBR 10151 (2000)

A NBR 10151/00 dispõe sobre a “Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade” tem como base os seguintes objetivos:

Fixar as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independente da existência de reclamações;

Especificar um método para a medição de ruído, a aplicação de correções nos níveis medidos se o ruído apresentar características especiais e uma comparação dos níveis corrigidos com um critério que leva em conta vários fatores;

O método de avaliação envolve as medições do nível de pressão sonora equivalente (LAeq), em decibéis ponderados na curva A, comumente chamado dB(A).

A norma aborda algumas definições (nível de pressão sonora equivalente, ruído com caráter impulsivo, ruído com componentes tonais, nível de ruído ambiental), equipamentos de medição (classificação do equipamento e calibração) e os procedimentos de medição.

O método de avaliação do ruído é baseado em uma comparação entre o nível de pressão sonora corrigido (Lc) e o nível de critério de avaliação NCA. O nível corrigido (Lc) é determinado pelo nível de pressão sonora equivalente (LAeq) para ruídos sem caráter impulsivo ou tonal. Para casos em que o ruído possua outras características, a norma indica alguns procedimentos específicos.

Os valores adotados pela NBR 10.151 (2000) para o nível de critério de avaliação estão representados na Tabela 3.

TABELA 3 - NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO (NCA) PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM dB(A).

TIPOS DE ÁREAS	DIURNO	NOTURNO
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Áreas estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

FONTE: NBR 10151 (ABNT, 2000)

4.4 RESOLUÇÕES DO CONAMA

4.4.1 Resolução Nº. 001 de 08/03/1990 do CONAMA

Considera que os problemas dos níveis excessivos de ruído estão incluídos entre os sujeitos ao Controle da Poluição de Meio Ambiente, e que a deterioração da qualidade de vida causada pela poluição sonora está sendo continuamente agravada nos grandes centros urbanos (CONAMA, 1990).

Esta resolução dispõe o seguinte:

A emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política, obedecerá, no interesse da saúde, do sossego público, aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidos nesta resolução.

São prejudiciais à saúde e ao sossego público, para os fins do item anterior, os ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela Norma NBR 10151 Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A emissão de ruídos produzidos por veículos automotores e os produzidos no interior dos ambientes de trabalho obedecerão às normas expedidas, respectivamente, pelo Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN e pelo órgão competente do Ministério do Trabalho.

As entidades e órgãos públicos (federais, estaduais e municipais) competentes, no uso do respectivo poder de polícia, disporão de acordo com o estabelecido nesta resolução, sobre a emissão ou proibição da emissão de ruídos produzidos por qualquer

meio ou de qualquer espécie, considerando sempre os locais, horários e a natureza das atividades emissoras, com vistas a compatibilizar o exercício das atividades com a preservação da saúde e do sossego público.

Para os efeitos desta resolução, as medições deverão ser efetuadas de acordo com a NBR 10151 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, da ABNT, todas as normas regulamentadoras da poluição sonora, emitidas a partir da data em que esta resolução foi publicada, deverão apresentar conteúdo compatível com o da presente resolução.

4.4.2 Resolução Nº. 252 de 01/02/1999 do CONAMA

Considera que o ruído excessivo, principalmente o ruído proveniente do tráfego dos veículos rodoviários automotores, causa prejuízo à saúde física e mental, afetando particularmente a audição, sendo necessário reduzir estes altos índices de poluição sonora nos principais centros urbanos do Brasil.

4.5 LEI MUNICIPAL DE CURITIBA Nº 10.625 DE 2002

Em Curitiba a lei municipal 10.625/02 (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2002) dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público. A lei determina os níveis sonoros máximos permitidos em função do período do dia, sendo os períodos definidos em:

- Diurno – entre as 07h01min às 19h00min;
- Vespertino – entre 19h01min às 22h00min;
- Noturno – entre 22h01min às 07h00min.

A cidade de Curitiba está dividida em diversas zonas de uso conforme lei municipal 9800/2000 (ver Figura 5), por exemplo: Setor Especial Comercial, Setor Histórico, Zona Especial Educacional, Zona Industrial, Zona Residencial, Zona de Uso Misto, entre outras.

A emissão de sons e ruídos por quaisquer atividades industriais, comerciais, prestação de serviços, religiosas, sociais, recreativas e de carga e descarga não podem

exceder os níveis de pressão sonora contidos em sua respectiva zona de uso, conforme descrito na lei 10.625/02 e demonstrada na Tabela 4.

TABELA 4 - LIMITES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS DE RUÍDO – LEI MUNICIPAL Nº 10.625/02 (L_{Aeq})

ZONAS DE USO*	DIURNO	VESPERTINO	OTURNO
ZR-1, ZR-2, ZR-3, ZR-B, ZR-AV, ZR-M, APA-SARU, APA-SMRU	55 dB (A)	50 dB (A)	45 dB (A)
ZR-OC, ZR-SF, ZR-U, ZUC-II, ZT-MF, ZT-NC, ZE-E, ZE-M, ZOO, SE-CC, SE-PS, SE-OI, APA-ST	60 dB (A)	55 dB (A)	50 dB (A)
ZR-4, ZC, ZT-BR-116, ZUM, ZE-D, SE, SH, SE-BR-116, SE-MF, SE-CF, SE-WB, SE-AC, SE-CB, CONEC, SE-PE, SC-SF, SC-UM, SE-NC, SEI, SEHIS, SE-LE, SEVC-PASSAÚNA, SEVS-PASSAÚNA, APA-SS, Vias prioritárias 1 e 2, Vias setoriais, Vias coletoras 1,2 e 3	65 dB (A)	60 dB (A)	55 dB (A)
ZS-1, ZS-2, ZES, ZI, ZE-I (CIC), APA-SUE	70 dB (A)	60 dB (A)	60 dB (A)

FONTE: Prefeitura Municipal de Curitiba (2002)

Percebe-se que a lei municipal de Curitiba 10.625/02 concorda com os valores da NBR 10151/00, sendo em muitos casos mais exigente. É o caso do artigo 5º em seu parágrafo 3º que prescreve o seguinte: “Quando a propriedade que sofre o incômodo tratar-se de escola, creche, biblioteca pública, hospital, ambulatório, casa de saúde ou similar com leitos para internamento, hotel ou similar, devem ser atendidos os limites estabelecidos para ZR-1, independentemente da zona de uso e deve ser observado o raio de 200 m (duzentos metros) de distância, definida como zona de silêncio.” Na referente lei também está detalhada de forma ampla a classificação das infrações, os valores das penalizações e as sanções caso haja o descumprimento de qualquer dispositivo..

5 MATERIAIS E MÉTODO

5.1 INTRODUÇÃO

Curitiba, como toda grande capital em contínuo desenvolvimento, agrega este componente à sua vida urbana: a poluição sonora caracterizada pelo ruído urbano. Como pontos principais de geração de ruído de tráfego na cidade de Curitiba têm-se as vias de tráfego rodoviário intenso, caracterizadas pelos eixos estruturais da cidade.

O presente trabalho propõe uma rotina de avaliação *in situ* e predição acústica em laboratório para o estudo do ruído de tráfego, com dedicação direta a estudos de impactos ambientais devidos a emissões sonoras.

Em adição, algumas medidas mitigadoras serão propostas para situações identificadas como negativamente impactantes.

Para tanto foram realizadas as seguintes etapas: 1) definição dos locais avaliados; 2) coleta de dados de campo; 3) tabulação dos dados coletados; 4) mapeamento acústico; 5) proposição de medidas mitigadoras; 6) avaliação de cenários futuros; e 7) avaliação conclusiva.

A seguir cada etapa será detalhada, com exceção das duas últimas, que serão discutidas em sua totalidade nos capítulos posteriores.

5.2 DEFINIÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

O objeto deste estudo é a avaliação do ruído ambiental em três eixos importantes da cidade que fazem parte dos Setores Especiais Estruturais.

Como os setores são bastante extensos, uma avaliação muito detalhada ao longo de toda a extensão dos eixos seria inviável. Desta forma, foi escolhido apenas um trecho, com comprimento variando de 2,4 a 3,5 quilômetros, de cada eixo para caracterizar o ruído de tráfego na cidade de Curitiba.

Os trechos analisados foram escolhidos de modo a analisar o maior número de vias diferentes nos trechos considerados mais movimentados dos setores especiais. Os trechos avaliados, ver Figura 20, são:

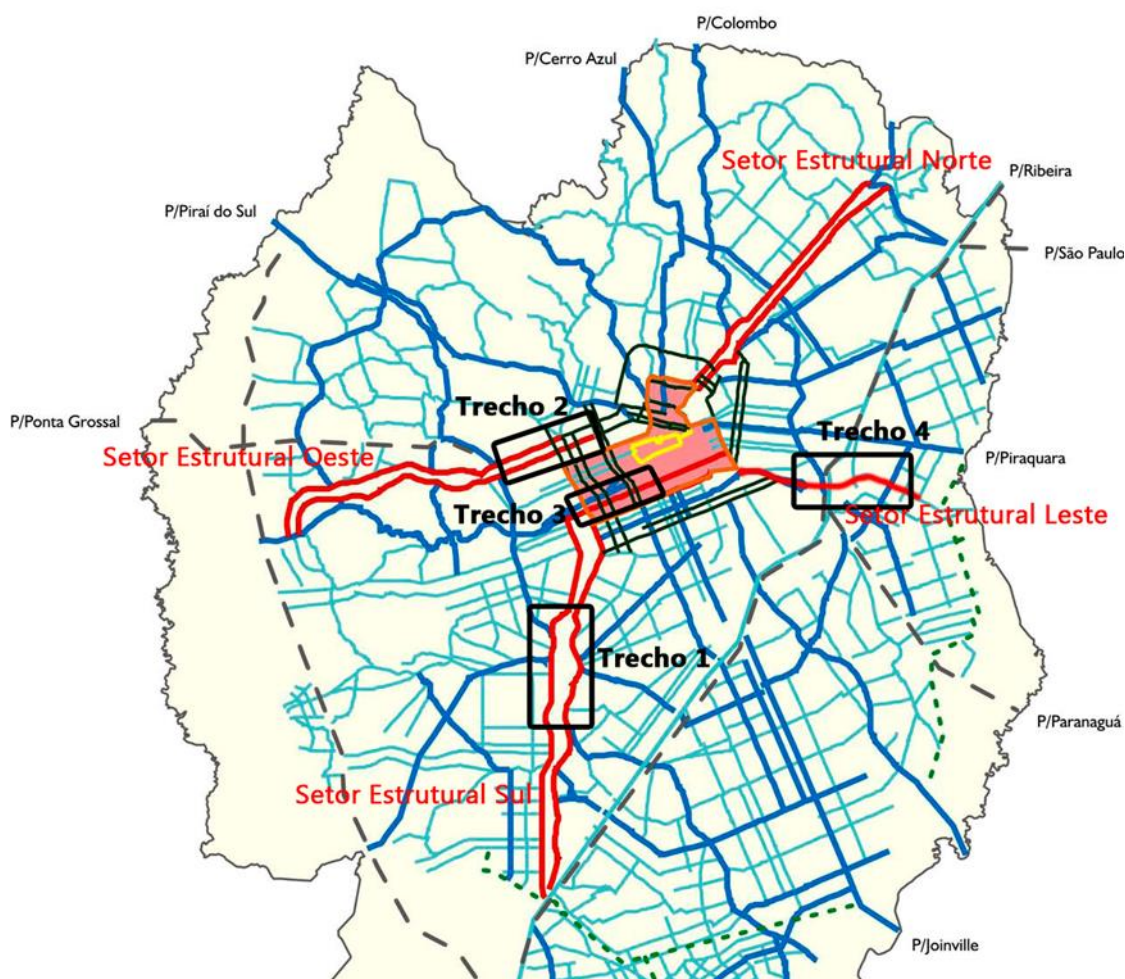


FIGURA 20 - TRECHOS AVALIADOS NOS PRINCIPAIS SETORES ESTRUTURAIS DE CURITIBA.
 FONTE: Adaptado de Prefeitura Municipal de Curitiba (2008)

Como se podem notar pela Figura 20 dois trechos foram avaliados no setor estrutural sul, um trecho no setor estrutural oeste e um trecho no setor estrutural norte. Não foi avaliado o setor estrutural norte.

Trecho 1

O trecho 1 avaliado situa-se na regional Portão da cidade de Curitiba, tem aproximadamente 2700 m de comprimento e faz parte do Setor Especial Estrutural Sul. Abrange os bairros: Novo Mundo, Portão e Água Verde. É uma região que abriga um enorme centro comercial nas proximidades da igreja do Portão. A oferta de comércio e serviços é uma característica da região, onde podem ser encontrados diversos bancos, escolas, escritórios, museu, shoppings e terminal de ônibus, dando a esta região uma

circulação enorme de veículos e de pessoas diariamente. As figuras 21 e 22 ilustram o trecho:

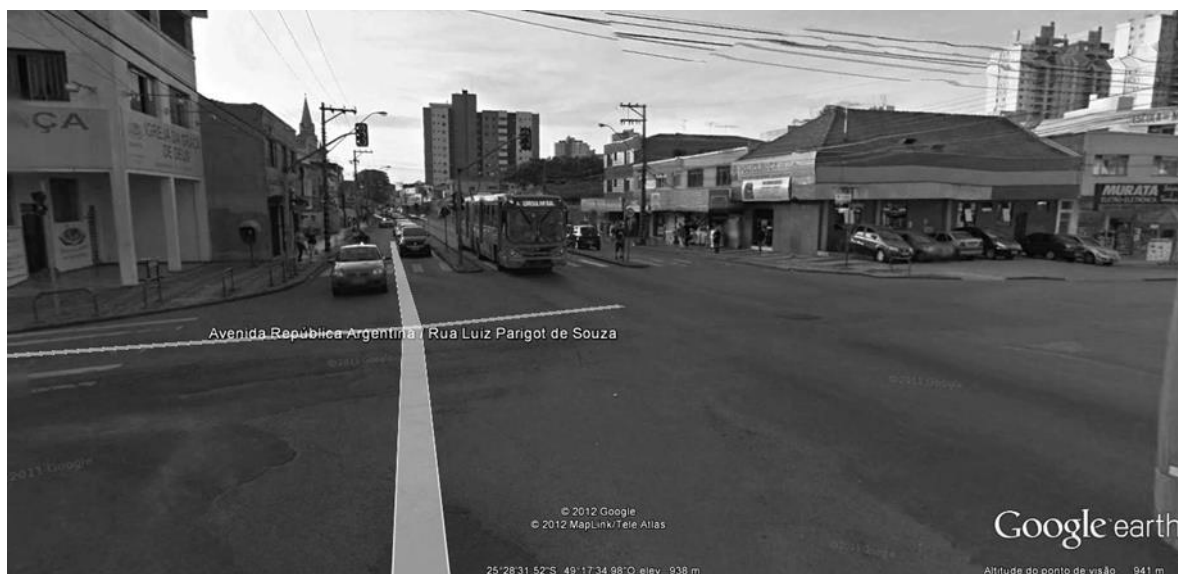


FIGURA 21 - FOTO TIRADA PRÓXIMA AO TERMINAL DO PORTÃO NO TRECHO 1, NA AV. REPÚBLICA ARGENTINA. AO FUNDO A IGREJA DO PORTÃO.

FONTE: INAV/Geosistemas srl, 2009 in Google Earth for Windows v.5.2 (2012)



FIGURA 22 - FOTO TIRADA NA RUA FRANCISCO FRISCHMANN A VIA CONHECIDA COMO UMA DAS “RÁPIDAS DO PORTÃO”.

FONTE: INAV/Geosistemas srl, 2009 in Google Earth for Windows v.5.2 (2012)

Trecho 2

O trecho 2 avaliado engloba as regionais Santa Felicidade e Matriz e faz parte do Setor Especial Estrutural Oeste, tem aproximadamente 2400 m de comprimento e abrange os bairros: Campina do Siqueira, Bigorrilho e Mercês. É uma região nobre do município. Atualmente é um local que reúne uma grande concentração de edifícios da cidade, mas também há comércios, escolas, shopping e terminal de ônibus. O trecho aparece ilustrado nas figuras 23 e 24.



FIGURA 23 - FOTO TIRADA NA RUA PADRE ANCHIETA NO BAIRRO BIGORRILHO NO TRECHO 2.
 FONTE: INAV/Geosistemas srl, 2009 in Google Earth for Windows v.5.2 (2012)

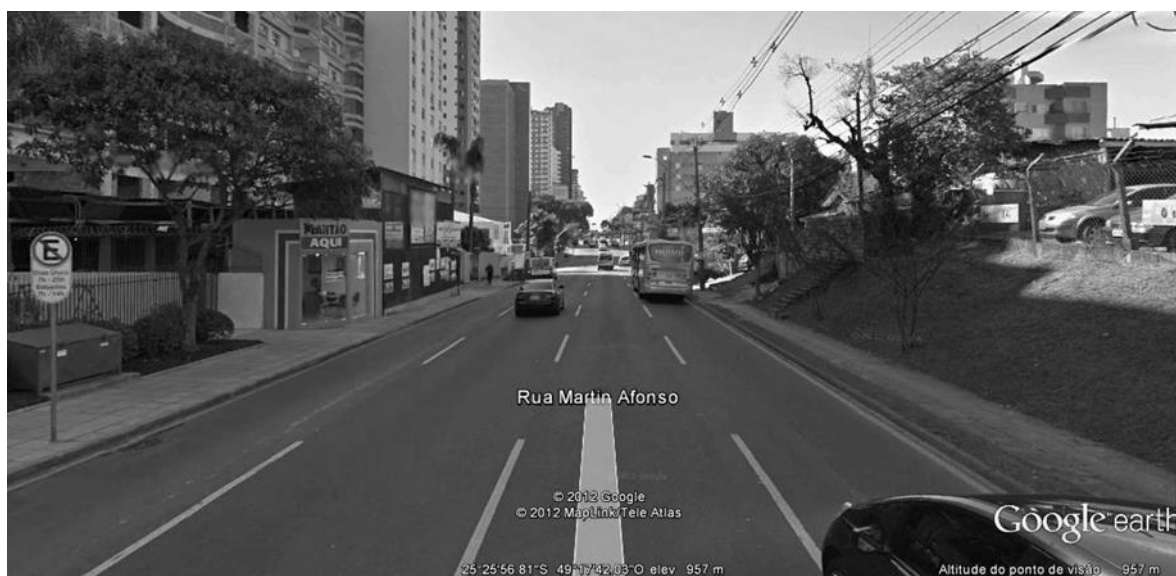


FIGURA 24 - FOTO TIRADA NA RUA MARTIM AFONSO NO BAIRRO MERCÊS NO TRECHO 2.
 FONTE: INAV/Geosistemas srl, 2009 in Google Earth for Windows v.5.2 (2012)

Trecho 3

O trecho 3 avaliado está situado na Regional Matriz abrange e faz parte do Setor Especial Estrutural Sul, tem aproximadamente 2700 m de comprimento e abrange os bairros: Seminário, Batel e Centro. Nesta região central de Curitiba não há apenas a população residente transitando pelo bairro. Deve-se levar em conta que parte da população de Curitiba que diariamente vai ao centro e imediações, seja com intuito de lazer, obrigações ou por motivos de trabalho, traz assim, um enorme fluxo de tráfego e de pessoas a região. O trecho aparece ilustrado nas figuras 25 e 26.



FIGURA 25 - FOTO DA AV. VISCONDE DE GUARAPAUAVANOBARRIO BATEL NO TRECHO 3.
 FONTE: INAV/Geosistemas srl, 2009 in Google Earth for Windows v.5.2 (2012)



FIGURA 26 - FOTO TIRADA NA SETE DE SETEMBRO NO BARRIO BATEL NO TRECHO 3.
 FONTE: INAV/Geosistemas srl, 2009 in Google Earth for Windows v.5.2 (2012)

Trecho 4

O trecho 4 avaliado está situado nas regionais Cajuru e Matriz e faz parte do Setor Especial Estrutural Leste, tem aproximadamente 3500 m de comprimento e abrange os bairros: Alto da Rua XV, Cristo Rei, Cajuru e Capão da Imbuia. Este trecho é bastante conhecido por ser uma das rotas em que há o trilho do trem. Está em grande expansão residencial devido a construção de muitos edifícios no bairro Cristo Rei, é um trecho predominantemente residencial, porém serve como um importante corredor de transportes que liga o centro aos bairros. O trecho aparece ilustrado nas figuras 27 e 28.

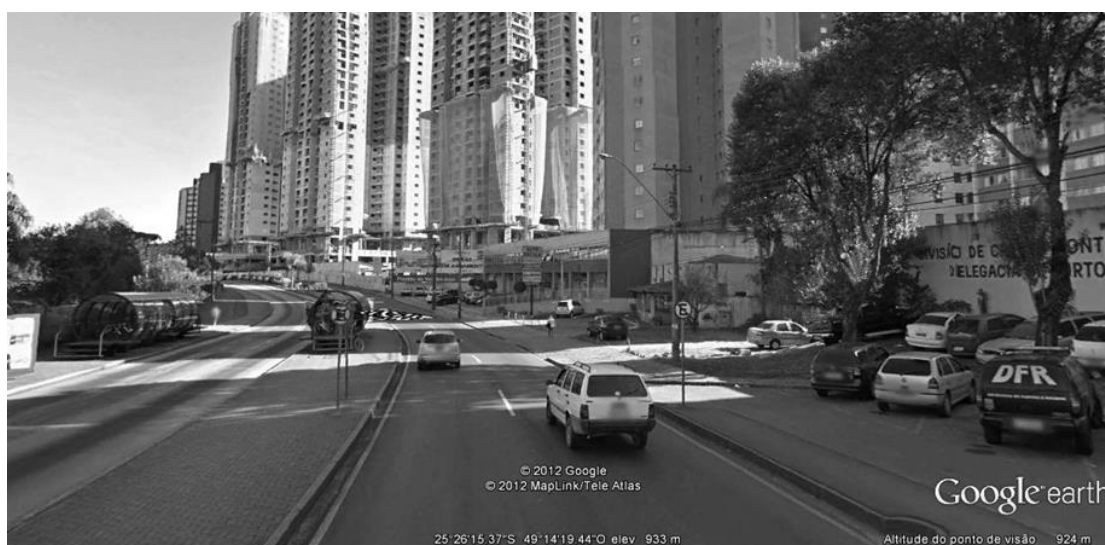


FIGURA 27 - FOTO DA AV. PRES. AFFONSO CAMARGO NO BAIRRO CRISTO REI NO TRECHO 4.
 FONTE: INAV/Geosistemas srl, 2009 in Google Earth for Windows v.5.2 (2012)

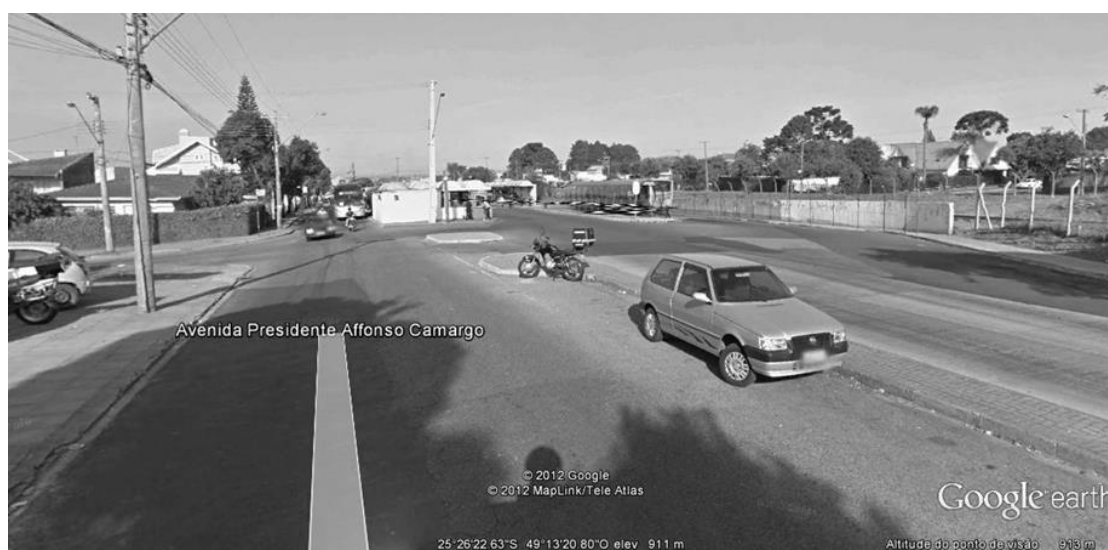


FIGURA 28 - FOTO DA AV. PRES AFFONSO CAMARGO NO BAIRRO CAPÃO DA IMBUIA NO TRECHO 4
 FONTE: INAV/Geosistemas srl, 2009 in Google Earth for Windows v.5.2 (2012)

5.3 COLETA DE DADOS DE CAMPO

5.3.1 Locais de medição

Para caracterizar a poluição sonora nos trechos avaliados, foram realizadas 227 medições em locais diferentes, totalizando mais de 40 horas de medição. Em média foram aproximadamente 60 pontos por trecho avaliado.

Os pontos foram espaçados de forma a obter o maior número de dados para a elaboração dos mapas de ruído. As medições ocorreram em praticamente todas as vias, tanto as que fazem parte do trinário quanto as perpendiculares a essas vias para que o mapa acústico pudesse representar da melhor maneira possível os níveis sonoros na região. Também foram escolhidos de modo que facilitasse a realização das medições sem muitas interferências de pedestres ou de veículos que pudessem estacionar em frente aos referidos locais. Nos mapas a seguir, é possível visualizar a localização exata dos pontos de medição em cada trecho avaliado.

Os trechos urbanos onde foram realizadas as medições do ruído estão inseridos nas seguintes zonas de uso:

Trecho 1: Setor Especial Estrutural (SE);

Trecho 2 Setor Especial Estrutural (SE), Zona Residencial Mercês (ZR-M) e Zona Residencial 4 (ZR-4);

Trecho 3 Setor Especial Estrutural (SE), Zona Residencial Batel (ZR-B); Zona Residencial 1; e Zona Residencial 4 (ZR-4).

Trecho 4 Setor Especial Estrutural (SE), Setor Especial Affonso Camargo, (SE-AC), Setor Especial BR-116 (SE-BR-116) e Zona Residencial 4 (ZR-4);

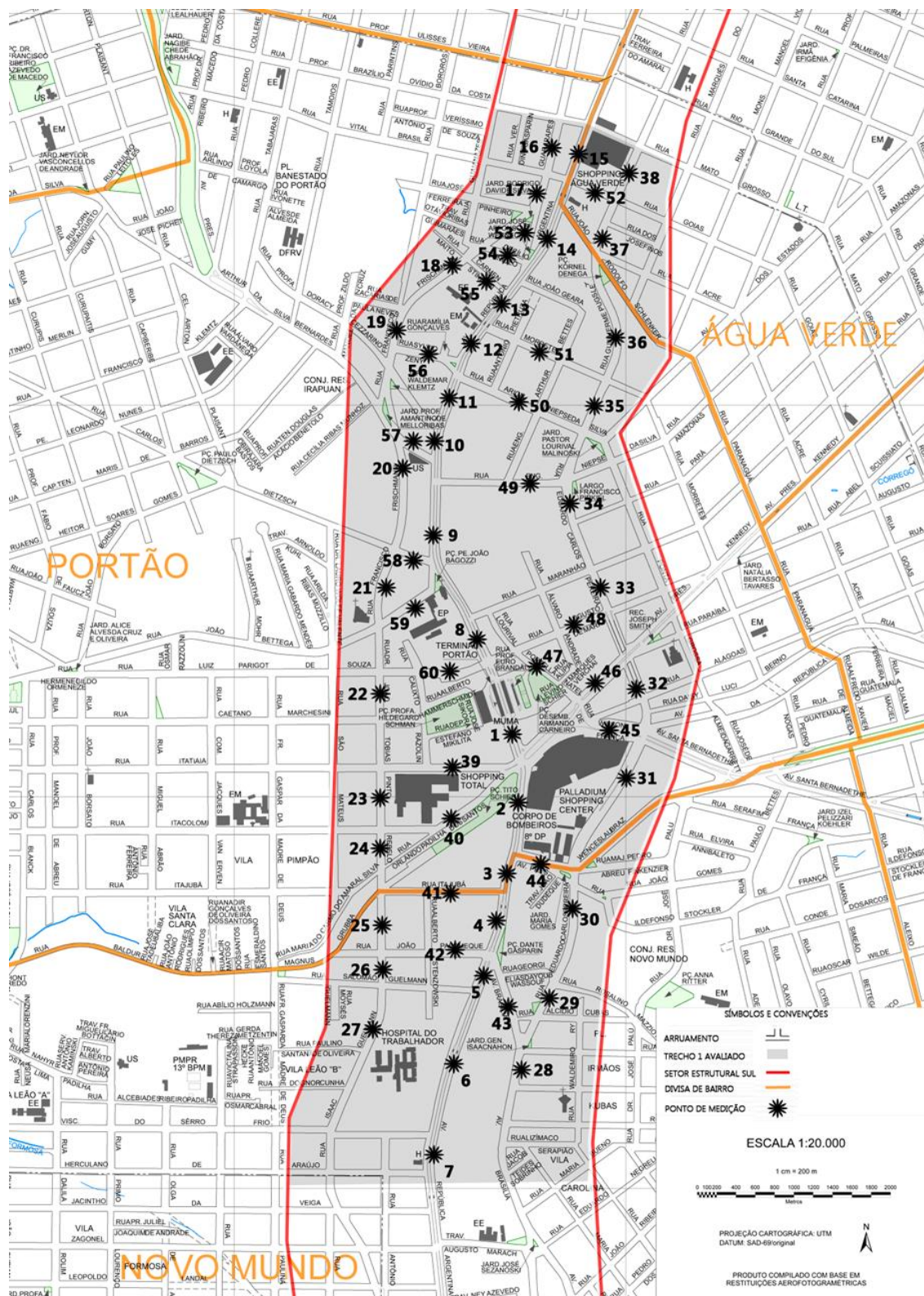


FIGURA 29 - MAPA COM A LOCALIZAÇÃO EXATA DOS PONTOS MEDIDOS NO TRECHO 1 AVALIADO.

FONTE: O Autor (2012)

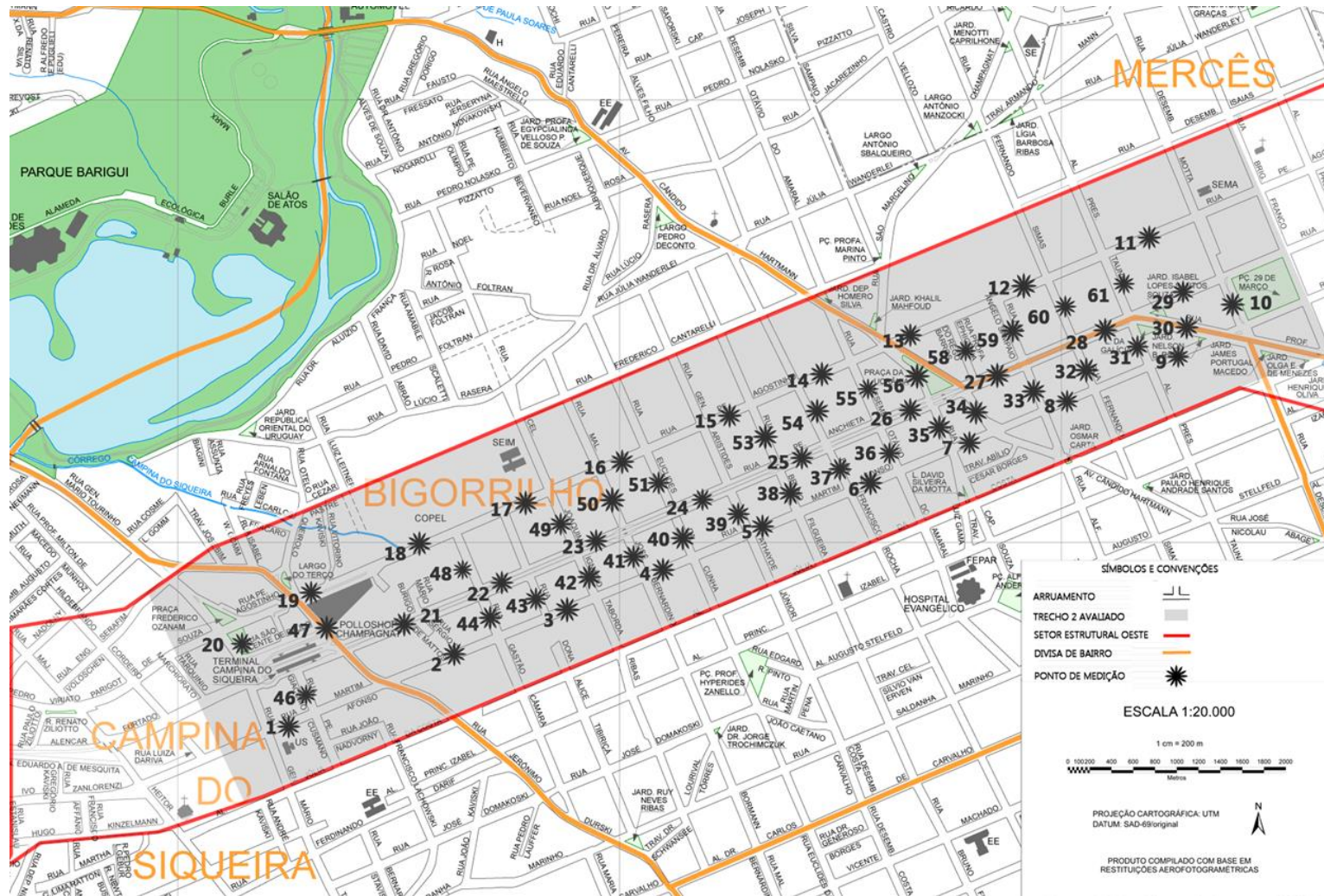


FIGURA 30 - MAPA COM A LOCALIZAÇÃO EXATA DOS PONTOS MEDIDOS NO TRECHO 2 AVALIADO.

FONTE: O Autor (2012)

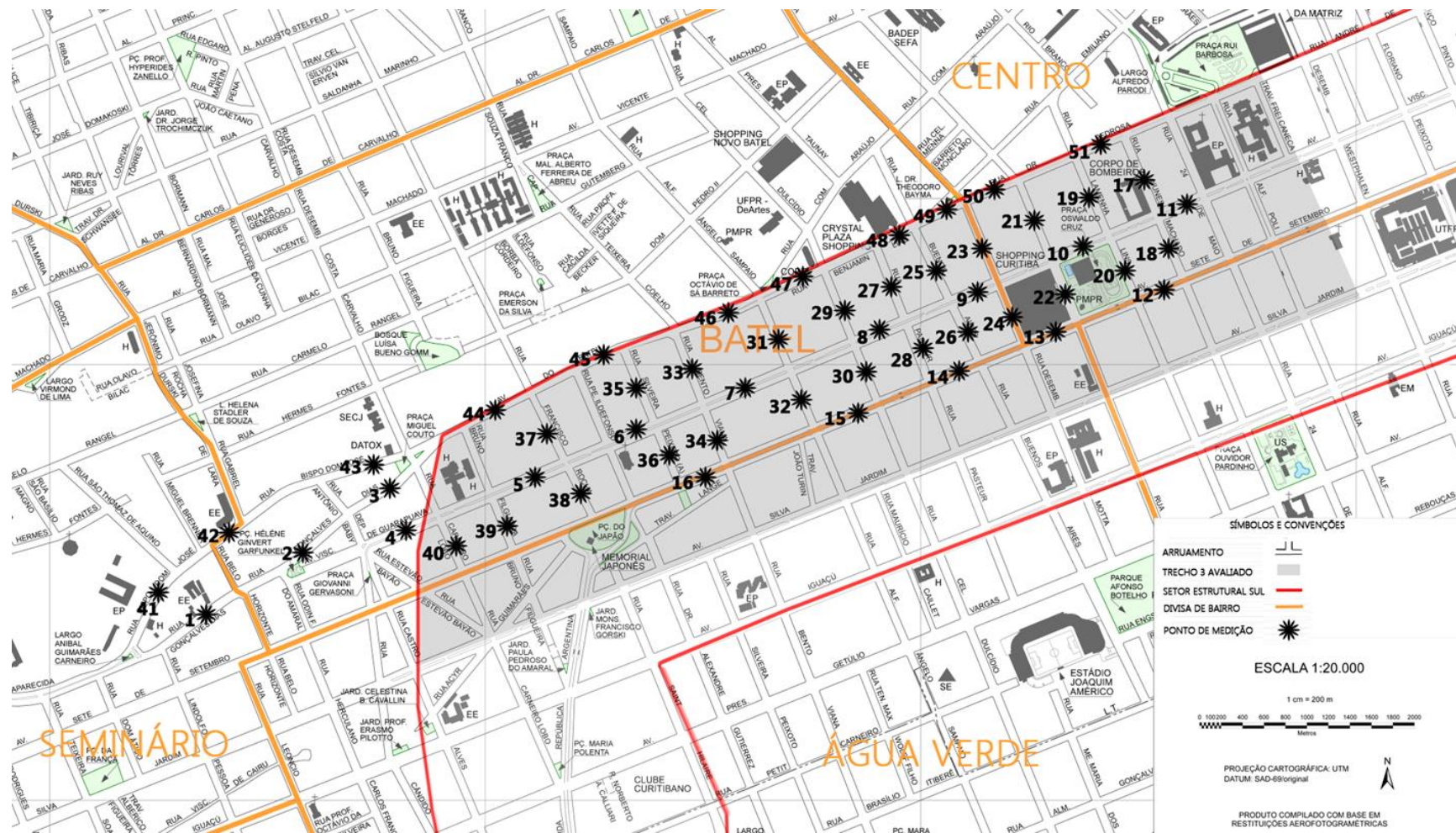


FIGURA 31 - MAPA COM A LOCALIZAÇÃO EXATA DOS PONTOS MEDIDOS NO TRECHO 3 AVALIADO.

FONTE: O Autor (2012)

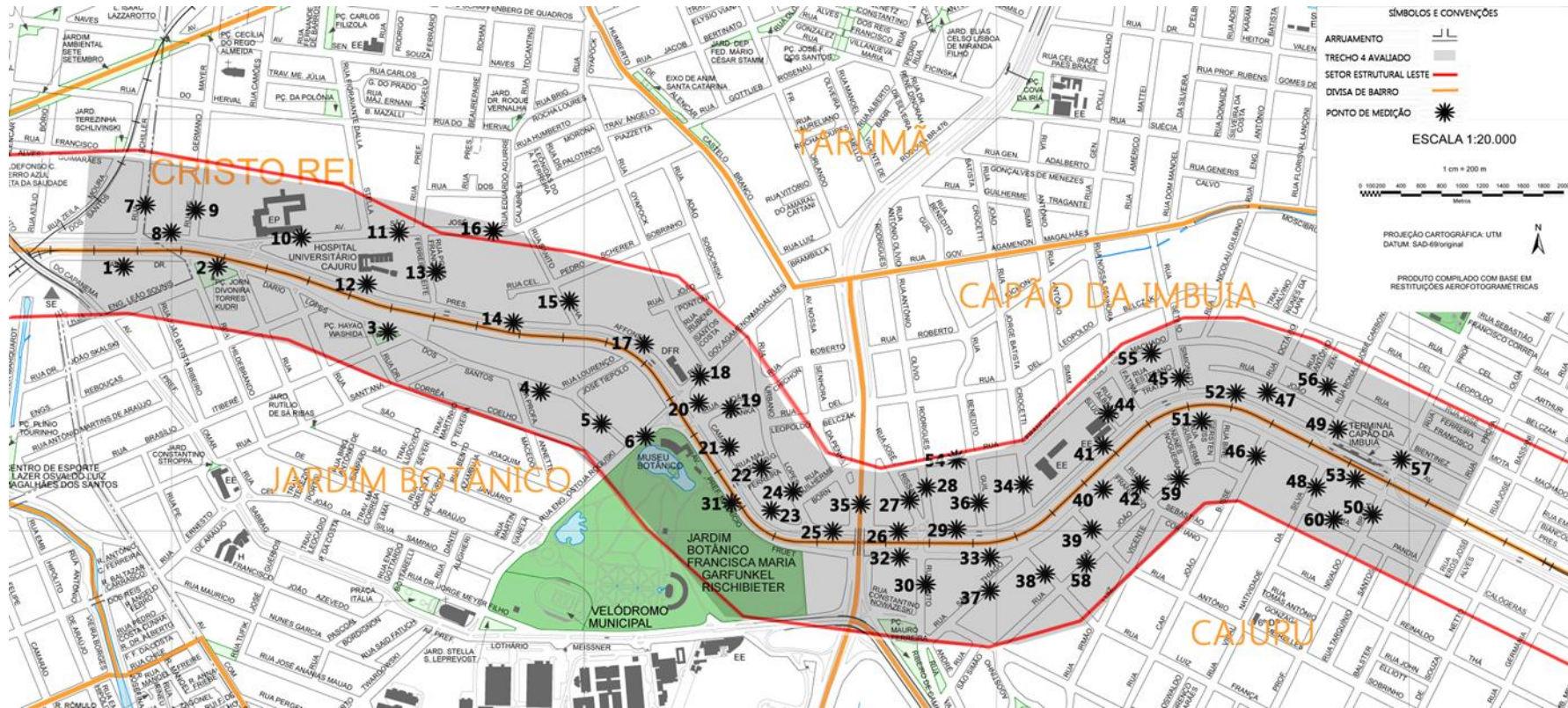


FIGURA 32 - MAPA COM A LOCALIZAÇÃO EXATA DOS PONTOS MEDIDOS NO TRECHO 4 AVALIADO.

FONTE: O Autor (2012)

As medições sonoras foram realizadas conforme as recomendações da norma NBR 10151/2000 e seguindo as recomendações das normas ISO 1996 partes 1 e 2.

A NBR 10151/2000 orienta que em medições externas, deve-se, quando possível, efetuar a medição a pelo menos 2m de qualquer superfície reflexiva como muros e edificações com exceção do solo. Desta forma, as medições foram feitas a uma altura de 1,20 m, (Figura 33, a seguir) perpendicular ao eixo de emissão (pista). Em alguns pontos a medição foi feita no canteiro central por não haver como realizar nos canteiros laterais.

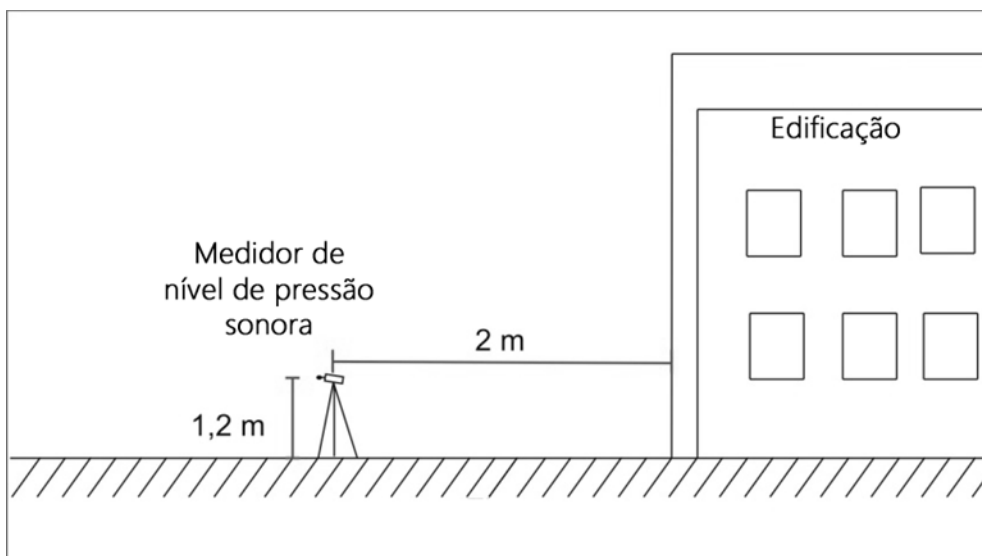


FIGURA 33 - DISTÂNCIAS TOMADAS AO POSICIONAR O MEDIDOR EM CAMPO.

FONTE: O Autor (2012)

Antes do início das medições, foram calibrados todos os analisadores utilizados na pesquisa. O objetivo da calibração é verificar a sensibilidade do aparelho ajustando-o, se necessário, para garantir a precisão dos resultados. (BRUEL & KJAER 2000).

As medições dos níveis sonoros foram realizadas com a utilização de analisadores sonoros classe I, fabricados pela empresa dinamarquesa *Brüel & Kjaer*. Os equipamentos utilizados foram:

- 1) Analisadores sonoros (*Brüel & Kjaer* 2238 e *Brüel & Kjaer* 2250) com capacidade de realizar análise em frequências, (classe 1 segundo IEC 60651). Obedecem a Norma Brasileira 10.151 (2000) – Avaliação do Ruído em Comunidades;
- 2) Um calibrador modelo BK 4231;
- 3) Software *Noise Explorer* modelo 7815 para o descarregamento de dados;
- 4) Software de análise Predictor 8.11 modelo 7810 para a realização dos mapas acústicos.

Segundo Hansen (2005), na etapa das medições podem transcorrer alguns erros, como por exemplo, efeitos do vento, altas temperaturas, reflexões por superfícies muito próximas e erros do equipamento.

Todas as medições foram realizadas em boas condições meteorológicas (sem chuva e vento forte), com o aparelho portando um protetor de vento (*windscreen*). É importante salientar que um protetor de vento adaptado ao microfone do equipamento minimiza as possíveis interferências causadas pelo vento. A figura 34 mostra o equipamento com o protetor de vento em uma das medições.



FIGURA 34 - O EQUIPAMENTO COM O PROTETOR DE VENTO EM UMA DAS MEDIÇÕES.

FONTE: O Autor (2012)

As configurações dos analisadores foram realizadas no modo de resposta fast e avaliação na curva de ponderação A, em uma faixa dinâmica de 30 a 110 dB, sendo apropriadas para medição externa de ruído ambiental.

Durante o período de medição foram registrados todos os acontecimentos e informações importantes que pudessem de alguma forma interferir na análise de dados e no mapeamento sonoro. Isso foi realizado porque o aparecimento de fontes indesejadas como um trem passando, a sirene de uma ambulância, ruído de obras ou cães latindo obrigavam uma pausa, ou um reinício na medição, porque as características específicas destes ruídos poderiam alterar significativamente os resultados obtidos.

Quanto aos dias de medição, a escolha pode variar de acordo com o objetivo da pesquisa e do tipo de ruído ambiental avaliado. O ideal é que sempre sejam realizadas nos mesmos dias e nos mesmos horários, porém a disponibilidade de tempo, pessoas, equipamentos e do clima limitam, e muito, essa escolha. As medições do presente trabalho foram realizadas no período diurno (07h01min às 19h00min), entre os meses de abril e agosto de 2012, com contagens de tráfego simultâneas, em diferentes horários e dias úteis da semana, para que se pudessem englobar o maior número de situações possíveis de composição do tráfego. Cabe ressaltar que a quantidade de contagens de veículos foi equivalente à quantidade de medições realizadas.

O tempo de medição, segundo a NBR10151/2000, deve permitir a caracterização do ruído em estudo, podendo envolver uma única medição ou uma sequência delas. Na literatura, em estudos semelhantes de ruído de tráfego rodoviário, encontraram-se tempos de medição que variavam entre segundos e horas. (GUEDES et.al., 2011; MIODUSZEWSKI et.al., 2011; RAMIS et.al., 2003; ZANNIN & SANT'ANA, 2011).

Na literatura, relatam-se que medições de curta duração podem acelerar a coleta de dados com o risco de não gerar informações suficientes, porém medições longas são muito cansativas e a disponibilidade de tempo, pessoas, e equipamentos limitam uma empreitada como esta, correndo o risco de, inclusive, gerar resultados iguais obtidos em intervalos menores. Desta forma, a escolha do tempo de medição foi de 10 minutos seguindo a tendência de vários estudos publicados na literatura mundial. (GOLMOHAMMADI et.al., 2009; OYGUN & GURUN, 2008; YANO et.al., 2001; IZUMI & YANO, 1991; CHO et.al., 2004; LAWRENCE & BURGESS, 1980; BURGUES, 1977; UTLEY, 1982).

Os dados coletados foram: 1) quantidade de motocicletas, veículos leves e pesados; 2) nível sonoro equivalente na curva de ponderação A (L_{eq}); 3) níveis sonoros estatísticos, e; 4) níveis limites de máximo e mínimo. Para o mapeamento sonoro, o índice L_{eq} é utilizado como base aos indicadores L_{den} estipulados na diretiva europeia 2002/49/EC. Vale lembrar que a norma ISO 1996 parte 1 determina o L_{eq} como o melhor descritor de ruído ambiental.

5.4 TABULAÇÃO DOS DADOS COLETADOS

Após a realização das medições, os resultados foram transferidos dos analisadores para o computador através do software *Noise Explorer* modelo 7815. Neste programa foram processados os cálculos dos valores médios para os níveis sonoros equivalentes (L_{eq}), os níveis sonoros estatísticos e os valores limites de máximo e mínimo de cada ponto.

Já os dados de contagem de tráfego foram submetidos a uma planilha de cálculo (ver Apêndice 1) para determinação da demanda média de tráfego, fluxos diurno, e composições percentuais do tráfego.

5.5 MAPEAMENTO ACÚSTICO

Um mapeamento acústico ou sonoro é fundamental para o diagnóstico e avaliação de um ambiente sonoro. A confecção de Mapas do Ruído pode tornar-se um instrumento para o controle e redução da poluição sonora e melhoria da qualidade do ambiente sonoro da cidade de Curitiba. Os Mapas de Ruído são utilizados como ferramenta auxiliar para o desenvolvimento sustentável buscando a garantia e a melhoria da qualidade de vida da população urbana.

Para a confecção dos mapas acústicos são utilizados softwares de mapeamento acústico sofisticados. Estes softwares calculam automaticamente, para um número muito grande de pontos, os níveis de imissão sonora, a partir dos parâmetros do tráfego e das características físicas (topográficas) do local que se está estudando. Assim, eles são capazes de gerar um mapa dos níveis de ruído utilizando uma escala de cores relacionada aos níveis sonoros. Com este recurso, é possível conhecer os níveis de ruído em qualquer ponto de uma área delimitada, por meio de leitura direta no mapa de ruído.

Além disso, estes programas permitem que sejam simuladas alterações nos parâmetros que determinam tanto a emissão como a imissão do ruído, constituindo-se assim numa poderosa ferramenta, não só para a avaliação do impacto ambiental causado pelo ruído do tráfego, mas também para a avaliação prévia da eficácia de alternativas de controle do ruído que possam ser adotadas.

Com o avanço dos recursos computacionais, uma série de pacotes de software de mapeamento de ruído foi desenvolvida, sendo um destes o Predictor 8.11. Este programa calcula os níveis sonoros em função de sua propagação desde a fonte geradora até uma distância pré-determinada, representados por um mapa em escala de cores relacionada aos níveis de ruído. Sua entrada de dados permite a simulação de um grande número de variáveis, como por exemplo: 1) cálculo de fenômenos de propagação (difração, etc.); 2) adoção de fatores de correção (efeitos do solo e áreas de atenuação); 3) tipo de fonte e; 4) características de tráfego de uma via.

Optou-se pela escolha do modelo ISO 9613-1/2 *Road* porque vem sendo amplamente utilizado em diversos trabalhos encontrados na literatura (ZANNIN & SANT'ANA, 2011, LEE et.al., 2008, CHO et.al., 2004; CHO & MUN, 2007, FIEDLER et.al., 2012). Segundo Bies & Hansen (2009), O método ISO é moderadamente complexo e produz resultados de boa precisão.

O programa tem potencial para: elaboração de mapas de ruído e planos de controle de ruído de acordo com o regime legal sobre a poluição sonora; estudos de impacto sonoro do ambiente, avaliações acústicas de predição, consultoria sobre a elaboração de mapas de ruído, implementação das medidas necessárias ao cumprimento da lei, além de conhecimento dos conceitos fundamentais da análise e controle de ruído no âmbito das disciplinas de Acústica.

5.5.1 Confeção dos modelos

Para criar um mapa de ruído de uma área é necessário reunir uma série de parâmetros geométricos, físicos, de tráfego e acústicos. Os dados cartográficos georreferenciados como a topografia (curvas de nível de 5 em 5 metros), o arruamento e as ortofotocartas da região foram obtidos através da base de dados denominada Curitiba Digital – Edição 2006/CD-ROM, do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC e foram importadas para dentro do software Predictor.

As características altimétricas das edificações também devem ser inseridas no software Predictor, porém não são disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC, fazendo-se necessário então a digitalização manual de cada uma delas, utilizando as ortofotos como plano de fundo. Este processo é

longo e demorado, resultando em cerca de 10000 edificações desenhadas. Cabe ressaltar que as características altimétricas de cada edificação foram observadas. Foi contado o número de pavimentos de cada edificação e foi adotado um valor de 3 metros para cada pavimento. A figura 35 mostra as edificações digitalizadas no Predictor.

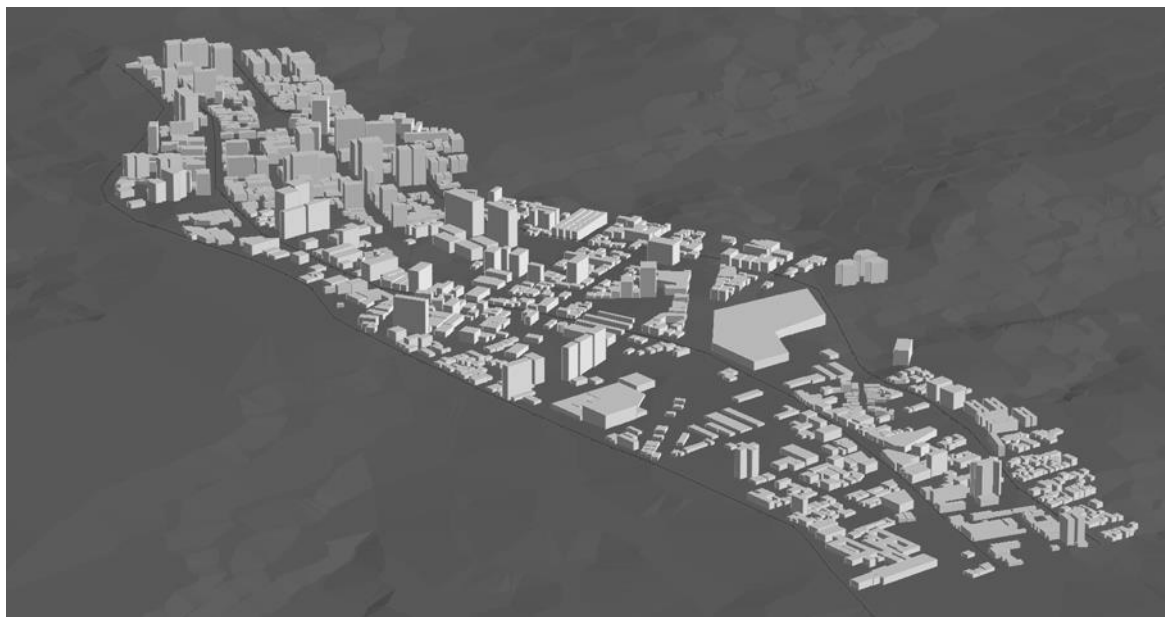


FIGURA 35 - VISUAL 3-D DAS EDIFICAÇÕES DESENHADAS NO TRECHO1 NO SOFTWARE PREDICTOR.

FONTE: O Autor (2012)

No software Predictor, uma via é por definição, um item usado para modelar o nível de pressão sonora emitido pela via (ruas ou estradas). A emissão sonora pode ser calculada em potência sonora por metro, ou pelo fluxo de veículos por hora, velocidade e tipo de superfície. Neste trabalho optou-se pelo cálculo da emissão sonora através do fluxo de veículos. Desta forma, a emissão sonora é calculada automaticamente de acordo com a norma RMV-SRM2. O padrão RMV-SRM2 define quatro categorias de veículos. Essas categorias são: motocicletas, veículos leves, caminhões leves e caminhões pesados.

- Veículos leves - carros, vans com um único eixo traseiro com um máximo de duas rodas sobre o eixo;
- Caminhões leves – pequenos ônibus, camionetas, caminhões não-articulados com um único eixo traseiro;

- Caminhões Pesados - veículos articulados, veículos com mais de um eixo traseiro.

O número de pistas de cada via foi conferido no local para se definir exatamente o eixo das vias. Desta forma, em vias com duas pistas ou mais onde há veículos trafegando nos dois sentidos ou em apenas um sentido, a caracterização se dá por apenas uma linha de emissão. Já em vias separadas por canteiros centrais, foi adotada uma linha de emissão para cada via. Para cada linha de emissão (via) são inseridos: o fluxo de tráfego horário de cada categoria de veículos, o tipo de pavimento (asfalto) adotado e a velocidade que trafega cada categoria de veículos.

A contagem de veículos foi manual e simultânea as medições, dessa forma, o número de veículos por hora foi inserido no software após a interpolação linear das contagens de 10 minutos.

O tipo de pavimento de cada via foi conferido no local para se definir exatamente qual inserir no software. Na maioria das vias foi escolhido asfalto comum, porém em algumas vias onde circulam os ônibus expressos biarticulados foi inserido o pavimento de concreto.

A definição da velocidade média dos veículos nas vias analisadas foi considerada a velocidade máxima permitida nas vias de tráfego, variando de 50 a 60 km para vias principais e 30 a 40 km para vias secundárias. Sendo que para veículos pesados a velocidade considerada foi de 5 km/h abaixo das velocidades de motocicletas e veículos leves. Também foram observadas as condições de cada pista para que pudesse ser feita a escolha correta do pavimento no software.

Os fatores de correção para a atenuação atmosférica não foram utilizados porque as medições ocorreram em boas condições meteorológicas (sem chuva e vento forte).

5.5.2 Calibração do modelo

A calibração do modelo é uma etapa muito importante e deve ser realizada sempre antes da simulação do mapa acústico, a qual leva muitas horas para ser realizado.

Esta calibração é feita primeiramente fazendo a checagem do modelo, onde o software acusa se há falhas ou incorreções nos níveis de cota (topografia), nas características altimétricas das edificações, ou ainda se há linhas de emissão (representadas pelas vias) que não contenham informações ou que contenham informações falhas.

Após a checagem do modelo, a segunda parte da calibração consiste em verificar se os níveis sonoros gerados pelo modelo são compatíveis com os níveis sonoros medidos em campo. Esta comparação é feita, adicionando receptores no modelo, no exato local onde foram feitas as medições. Quanto maior a área, mais receptores. Portanto mais medições, devem ser posicionadas para verificar o modelo. Os mapas foram calibrados com as medições, sendo que a diferença entre o L_{eq} medido e o simulado deve ser menor do que os 4,6 dB(A) recomendados pela WG-AEN em 2002.

5.5.3 Cálculo do mapeamento

Após a realização de todas as etapas anteriores descritas, realiza-se então o cálculo do modelo propriamente dito. Para a realização dos cálculos e obtenção dos mapas acústicos deve-se delimitar uma área de cálculo. Desta forma, o Predictor gera uma malha de pontos receptores (*grid noise map*) cuja distância entre os pontos é definida pelo usuário e depende do objetivo de cada usuário.

Segundo Guedes e Leite (2007) para os mapas estratégicos em áreas pouco urbanizadas, recomenda-se a adoção de uma malha média superior a 20x20 metros; no caso dos mapas estratégicos de aglomerações urbanas, a malha não deve ser superior a 10x10 metro. A escolha da malha também pode depender do tempo de cálculo e do tamanho dos arquivos desejados. Valores de 15x15m ou de 20x20m geram aproximações aceitáveis em alguns casos, com a vantagem de maior rapidez de processamento, no entanto, sacrifica-se o detalhe dos resultados em algumas zonas mais densamente

ocupadas. Desta forma, o tamanho da malha adotada neste trabalho foi de 10 x 10 metros nos mapas das regiões. Para os mapas das regiões sensíveis (mapas em 3D), a resolução da malha adotada foi de 2 x 2 metros.

Para a realização de um mapa acústico, devem ser empregados alguns parâmetros, como o grid e a altura de cálculo. A altura do grid utilizada foi de 4m, com objetivo de seguir a recomendação da *Environmental Noise Directive* (2002/49/EC).

Após realizadas todas estas etapas, o resultado é um mapa dos níveis de ruído utilizando uma escala de cores relacionada aos níveis sonoros. Com este recurso, é possível conhecer os níveis de ruído em qualquer ponto de uma área delimitada, por meio de leitura direta no mapa.

6 RESULTADOS

6.1 TRECHO 1

6.1.1 Tabulação dos dados

Cada medição foi submetida à análise no software *Noise Explorer* BK 7815, onde os dados acerca dos níveis de pressão sonora foram tabulados. Em adição, foram calculados, em uma planilha Excel, os volumes e as composições de tráfego para cada ponto para o período diurno. As tabelas que apresentam os resultados desta tabulação em cada trecho estão no apêndice 1.

A comparação dos dados medidos e simulados foi realizada para os 60 pontos avaliados no trecho 1 e os resultados são apresentados na tabela abaixo:

TABELA 5 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

PONTO DE MEDIÇÃO	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE L_{EQ} EM dB(A)		DIFERENÇA ENTRE A MEDIÇÃO E A SIMULAÇÃO EM dB(A)
	MEDIÇÃO	SIMULAÇÃO	
1	70,9	72,6	-1,7
2	70,6	73,6	-3,0
3	70,3	73,1	-2,8
4	71,6	73,5	-1,9
5	69,8	73,7	-3,9

Continua

TABELA 5 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

continuação

PONTO DE MEDIÇÃO	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE L_{EQ} EM dB(A)		DIFERENÇA ENTRE A MEDIÇÃO E A SIMULAÇÃO EM dB(A)
	MEDIÇÃO	SIMULAÇÃO	
6	70,6	72,0	-1,4
7	69,5	71,9	-2,4
8	71,1	72,9	-1,8
9	69,8	71,7	-1,9
10	71,7	74,0	-2,3
11	70,8	73,2	-2,4
12	68,4	71,4	-3,0
13	70,3	72,9	-2,6
14	69,9	71,5	-1,6
15	74,9	72,0	2,9
16	69,6	71,2	-1,6
18	74,7	75,7	-1,0
19	72,1	75,3	-3,2
20	76,6	77,3	-0,7
21	75,3	78,2	-2,9
22	77,0	76,5	0,5
23	75,2	76,5	-1,3
24	75,4	76,3	-0,9
25	75,6	79,0	-3,4
26	75,1	77,8	-2,7
27	74,7	77,4	-2,7
28	74,2	78,1	-3,9
29	76,5	78,4	-1,9
30	74,5	77,6	-3,1
31	71,7	70,8	0,9
32	73,9	76,0	-2,1
33	76,8	79,1	-2,3
34	73,6	77,8	-4,2
35	76,3	77,5	-1,2
36	75,6	76,9	-1,3
37	74,6	75,8	-1,2
38	76,3	75,6	0,7
39	73,6	76,3	-2,7
40	73,3	74,8	-1,5
41	59,4	63,3	-3,9
42	65,8	68,8	-3,0
43	66,0	68,9	-2,9
44	65,5	68,8	-3,3
45	68,2	64,6	3,6
46	73,4	76,3	-2,9

Continua

TABELA 5 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

conclusão

PONTO DE MEDIÇÃO	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE L_{EQ} EM dB(A)		DIFERENÇA ENTRE A MEDIÇÃO E A SIMULAÇÃO EM dB(A)
	MEDIÇÃO	SIMULAÇÃO	
47	67,7	70,7	-3,0
48	69,9	72,6	-2,7
49	66,1	69,6	-3,5
50	73,1	77,6	-4,5
51	60,0	62,8	-2,8
52	67,6	71,2	-3,6
53	62,0	64,6	-2,6
54	61,4	65,0	-3,6
55	59,2	60,6	-1,4
56	69,1	71,8	-2,7
57	65,9	69,5	-3,6
58	63,4	64,9	-1,5
59	63,9	66,2	-2,3
60	72,8	74,0	-1,2

FONTE: O Autor (2012)

Os mapas foram calibrados com as medições, sendo que a diferença entre os níveis medidos e os simulados foi menor que 4,6 dB(A) recomendados pela WG-AEN em 2002. Pode-se observar que a grande maioria dos pontos teve diferença menor do que 3 dB(A), acentuando dessa forma, uma aproximação aceitável entre os pontos medidos e os simulados.

A seguir, o gráfico ilustra os pontos de medição obtidos em campo. As duas linhas que cortam o gráfico significam que na região há dois limites máximos a serem respeitados. A linha que corta o gráfico em 65 dB(A), é o máximo permitido pela legislação vigente a Lei Municipal nº 10.625/2002 para o período diurno no Setor Especial Estrutural Sul, que é o zoneamento da região avaliada. A linha que corta o gráfico em 55 dB(A), representa o máximo permitido naqueles pontos pela legislação vigente a Lei Municipal nº 10.625/2002 para o período diurno para os pontos localizados nas zonas de silêncio.

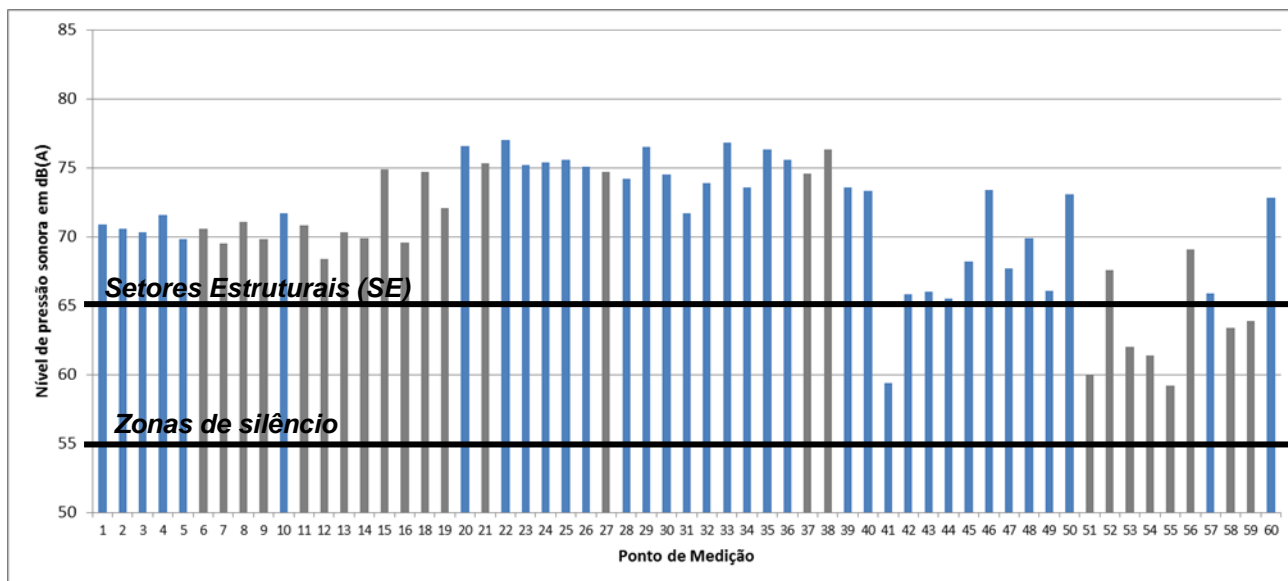


FIGURA 36 - FIGURA 38: NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE. A LINHA SUPERIOR QUE CORTA O GRÁFICO REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PREVISTO NA LEGISLAÇÃO PARA OS PONTOS DE MEDIÇÃO REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM AZUL. A LINHA INFERIOR REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PERMITIDO PARA ZONAS DE SILÊNCIO E ZR-M REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM CINZA.

FONTE: O Autor (2012)

O gráfico mostra que dos 60 pontos medidos na região, apenas 7 estão abaixo dos 65 dB(A) estipulados pela lei. Isso demonstra uma clara situação de poluição sonora na região.

Cabe destacar que, na Comunidade europeia, níveis sonoros acima de 5 dB(A) dos limites permitido, são indicados para que sejam ponderadas medidas de redução do ruído. O que se destaca nestes dados, é que de todos os pontos medidos, 56 pontos estão acima desta faixa de 5 dB(A), dos quais 28 estão acima de 10 dB(A) do limite permitido, o que dificulta as medidas mitigatórias.

Ainda segundo a Lei Municipal nº 10.625/2002, hospitais e escolas estão definidos como zona de silêncio e devem ser atendidos os limites estabelecidos para ZR-1 (máximo de 55 dB(A) no período diurno), independentemente da zona de uso e deve ser observado o raio de 200m (duzentos metros) de distância.

Isto posto, a figura 37 a seguir ilustra os pontos que estão neste raio de 200 m no trecho 1:

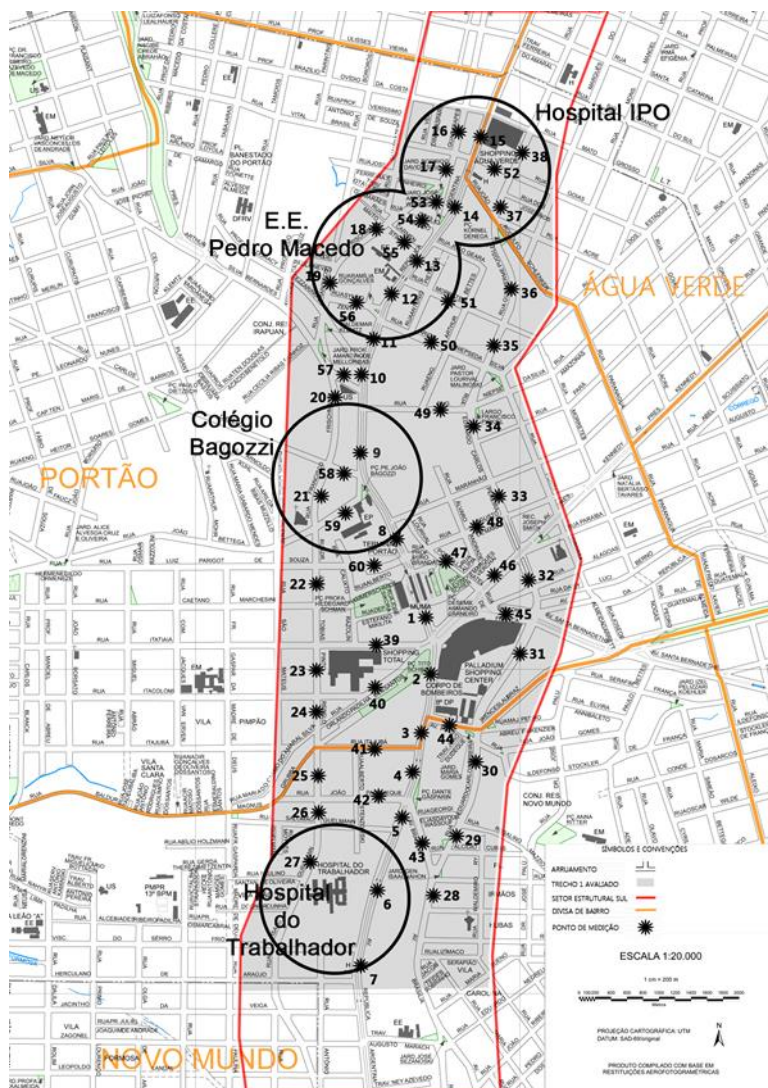


FIGURA 37 - PONTOS DE MEDIÇÃO DENTRO DAS ZONAS DE SILÊNCIO, NÍVEL MÁXIMO PERMITIDO DE 55 DB(A).

FONTE: O Autor (2012)

A figura acima destaca que 24 dos 60 pontos analisados estão situados na Zona de Silêncio e como demonstrado no gráfico da figura anterior, todos os pontos estão acima dos 55 dB(A) previstos na legislação.

Cabe ressaltar que estes níveis sonoros elevados que se encontram muito acima do permitido pela lei, podem ocasionar problemas acentuados com relação a atividades desempenhadas nestes estabelecimentos, tanto para o conforto daqueles que estão enfermos nos hospitais, quanto para aqueles que precisam de concentração nas escolas.

6.1.2 Mapeamento sonoro

O mapeamento de cada trecho foi desenvolvido para a avaliação do impacto ambiental causado pelo ruído do tráfego, mas também para a avaliação prévia da eficácia de alternativas de controle do ruído que possam ser adotadas.

Dessa forma, a geração dos mapas acústicos aqui elaborados auxilia o gerenciamento do ruído ambiental, pois fornecem:

- 1) Uma visão ampla do problema de poluição sonora, coloridos em intervalos de 5 dB de acordo com a ISO 1996-2;
- 2) Uma análise da situação presente dos níveis sonoros;
- 3) Predição de situações futuras, contribuindo para o planejamento urbano.

Uma análise prévia de um mapa de ruído permite identificar as fontes de ruído mais importantes e observar quais locais estão expostos a níveis muito elevados.

Situação atual Eixo 1
28 Sep 2012, 09:24

Universidade Federal do Paraná

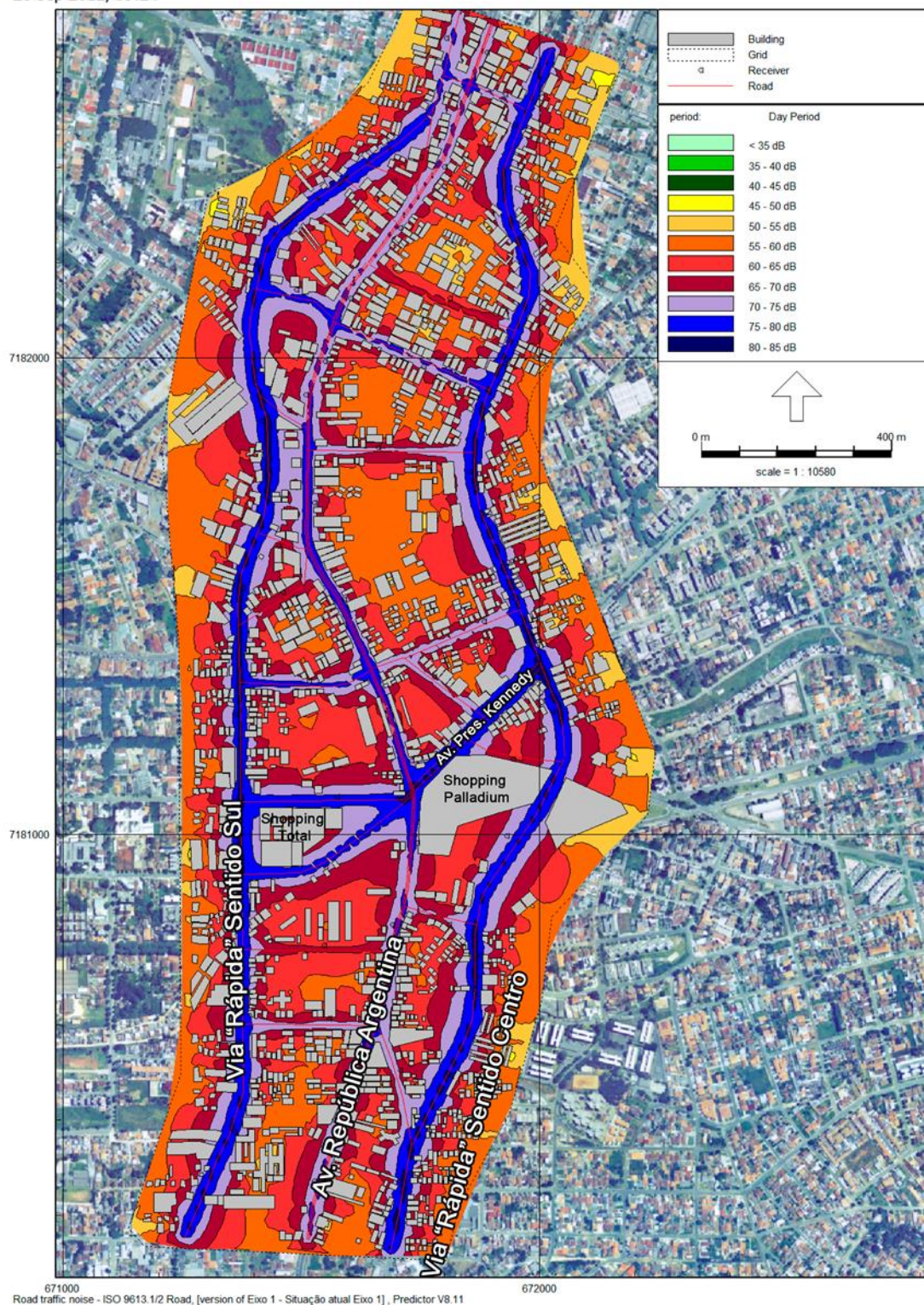


FIGURA 38 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 1 CALCULADO NO PREDICTOR PARA O INDICADOR L_{DAY} .

FONTE: O Autor (2012)

Basta uma visualização geral no mapa gerado para o Trecho 1 na Figura 38 que é possível perceber a predominância de cores escuras. Ou seja, mesmo sem um comparativo com as legislações ou uma análise aprofundada, é notável a presença de níveis de pressão sonora elevados.

A via central no mapa é a Av. República Argentina que contém a canaleta para o transporte de massa e as pistas lentas para atendimento às atividades lindeiras. Os níveis sonoros nesta via apresentam valores na faixa de 70 a 75 dB(A), valor considerado elevado porém justificável pelo grande número de ônibus biarticulados que trafegam na região.

As duas vias externas no mapa, também conhecidas como vias “rápidas”, tem sentido único de circulação, destinadas ao fluxo contínuo de veículos. A via da esquerda tem sentido sul da cidade e a da direita tem sentido ao centro da cidade. Os níveis sonoros nestas vias apresentaram valores na faixa de 75 a 80 dB(A). Muito elevados para uma região onde existem muitas residências. Esses níveis elevados podem ser justificados devido ao grande fluxo de veículos e a alta velocidade média observada no levantamento em campo.

As outras vias que apresentam elevados níveis sonoros são as que margeiam os dois grandes shoppings da região que trazem muita circulação de veículos e pessoas para a região.

Ainda analisando o mapa, pode-se observar que são poucos os locais onde os níveis estão abaixo dos 65 dB(A) permitidos pela Lei Municipal nº 10.625/2002 para o período diurno no Setor Especial Estrutural Sul, que é o zoneamento da região avaliada.

Se for observado que, segundo a Lei Municipal nº 10.625/2002, hospitais e escolas estão definidos como zona de silêncio e devem ser atendidos os limites estabelecidos para ZR-1 (máximo de 55 dB(A) no período diurno), independentemente da zona de uso e deve ser observado o raio de 200 m (duzentos metros) de distância. A situação geral se agrava devido à existência de duas escolas e dois hospitais nesta região, locais considerados sensíveis ao ruído. E por fim, nota-se que não há na região, locais onde os níveis estão abaixo dos 55 dB(A).

Situação atual Eixo 1
28 Sep 2012, 09:24

Universidade Federal do Paraná

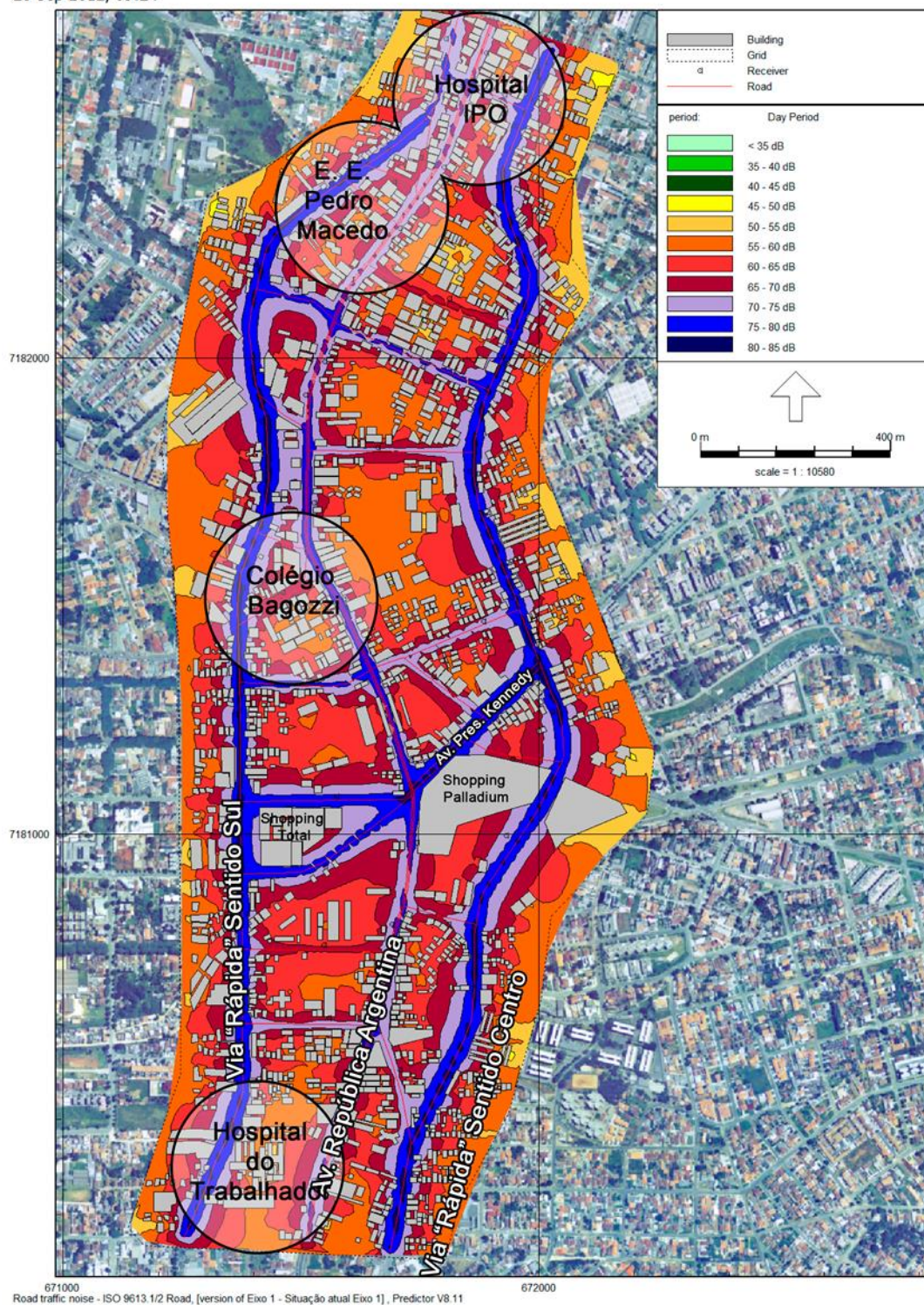


FIGURA 39 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 1 CALCULADO NO PREDICTOR, ILUSTRANDO LOCAIS CHAMADOS DE ZONAS SENSÍVEIS, COMO HOSPITAIS E ESCOLAS.
FONTE: O Autor (2012)

A região do trecho avaliado tem uma vasta oferta de comércio e serviços, onde podem ser encontrados diversos bancos, escolas, escritórios, hospitais, museu, shoppings e terminal de ônibus, dando a esta região uma circulação enorme de veículos e de pessoas diariamente, justificando os altos níveis sonoros demonstrados nas medições e nos mapas.

6.2 TRECHO 2

6.2.1 Tabulação dos dados

A comparação dos dados medidos e simulados foi realizada para os 60 pontos avaliados no Trecho 2 e os resultados se mostram na Tabela 6 a seguir.

TABELA 6 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

PONTO DE MEDIÇÃO	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE L_{EQ} EM dB(A)		DIFERENÇA ENTRE A MEDIÇÃO E A SIMULAÇÃO EM dB(A)
	MEDIÇÃO	SIMULAÇÃO	
1	72,0	75,9	3,9
2	70,7	73,3	2,6
3	73,9	75,2	1,3
4	71,0	73,3	2,3
5	74,2	75,8	1,6
6	73,8	76,8	3,0
7	73,0	76,0	3,0
8	73,8	74,7	0,9
9	73,7	74,6	0,9
10	66,5	70,3	3,8
11	73,5	75,2	1,7
12	75,2	75,8	0,6
13	74,6	77,7	3,1
14	71,3	74,9	3,6
15	74,6	74,5	-0,1
16	76,0	74,2	-1,8
17	74,2	72,9	-1,3
18	74,5	73,0	-1,5
19	71,8	74,7	2,9
20	70,7	72,8	2,1
21	66,0	68,7	2,7
22	69,5	70,2	0,7
23	68,3	69,4	1,1

continua

TABELA 6 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

conclusão

PONTO DE MEDIÇÃO	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE L_{EQ} EM dB(A)		DIFERENÇA ENTRE A MEDIÇÃO E A SIMULAÇÃO EM dB(A)
	MEDIÇÃO	SIMULAÇÃO	
24	69,2	69,1	-0,1
25	68,4	70,4	2,0
27	66,5	68,9	2,4
28	66,7	68,1	1,4
29	58,0	62,0	4,0
30	64,2	67,6	3,4
31	63,6	67,4	3,8
32	65,4	69,2	3,8
33	68,3	70,7	2,4
34	62,0	65,5	3,5
35	71,8	75,3	3,5
36	60,0	64,0	4,0
37	73,8	72,7	-1,1
38	59,5	61,5	2,0
39	58,5	62,0	3,5
40	68,9	70,2	1,3
41	62,8	65,2	2,4
42	63,7	67,7	4,0
43	65,0	67,7	2,7
44	67,4	68,1	0,7
46	64,6	67,9	3,3
47	70,0	69,4	-0,6
48	64,9	69,0	4,1
49	62,1	65,0	2,9
50	60,4	64,4	4,0
51	74,6	70,8	-3,8
53	59,5	63,7	4,2
54	71,4	71,3	-0,1
55	61,1	63,0	1,9
56	67,5	70,5	3,0
57	65,0	68,1	3,1
58	60,2	60,8	0,6
59	67,5	69,9	2,4
60	68,6	71,9	3,3
61	66,2	66,5	0,3

FONTE: O Autor (2012)

Os mapas foram calibrados com as medições, sendo que a diferença entre os níveis medidos e os simulados foi menor do que os 4,6 dB(A) recomendados pela WG-AEN em 2002.

Segundo a Lei Municipal nº 10.625/2002, hospitais e escolas estão definidos como zona de silêncio e devem ser atendidos os limites estabelecidos para ZR-1 (máximo de 55 dB(A) no período diurno), independentemente da zona de uso e deve ser observado o raio de 200 m (duzentos metros) de distância.

Isto posto, a figura 40 a seguir ilustra os pontos que estão neste raio de 200 m em dois pontos sensíveis (um centro médico e uma faculdade) no trecho 2, a figura também destaca que 16 dos 61 pontos analisados estão situados na Zona de Silêncio, destes, todos os pontos estão acima dos 55 dB(A) previstos na legislação:

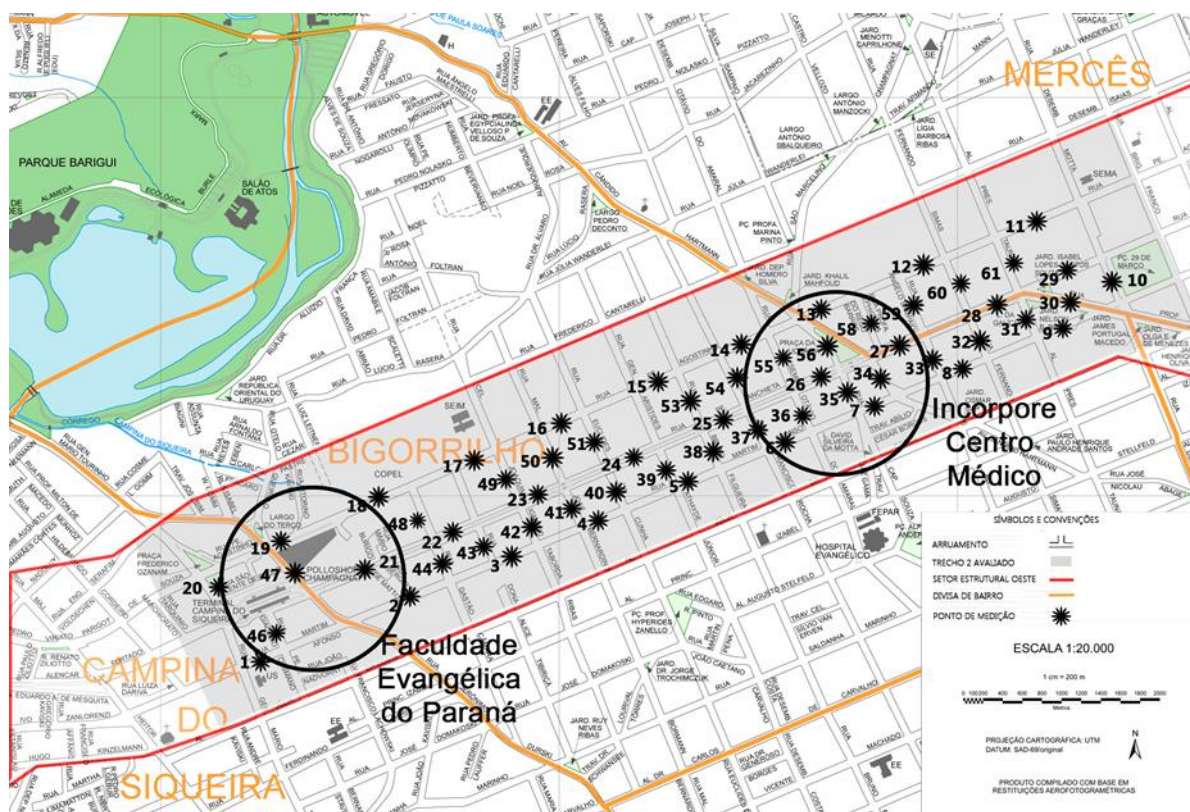


FIGURA 40 - PONTOS DE MEDIÇÃO DENTRO DAS ZONAS DE SILÊNCIO, NÍVEL MÁXIMO PERMITIDO DE 55 DB(A).

FONTE: O Autor (2012)

O gráfico a seguir (Figura 41) ilustra os pontos de medição obtidos em campo. As duas linhas que cortam o gráfico significam que na região há dois limites máximos a serem respeitados. A linha que corta o gráfico em 65 dB(A), é o máximo permitido pela legislação vigente a Lei Municipal nº 10.625/2002 para o período diurno no Setor Especial Estrutural Oeste, que é o zoneamento da maior parte da região avaliada. A linha que corta o gráfico em 55 dB(A), representa o máximo permitido naqueles pontos pela legislação vigente a Lei Municipal nº 10.625/2002 para o período diurno na Zona Residencial Mercês (ZR-M) e para os pontos localizados nas zonas sensíveis.

O gráfico mostra que dos 61 pontos medidos na região, 39 estão na região de no máximo 65 dB(A) estipulados pela lei. Enquanto os 22 restantes não podem ultrapassar 55 dB(A) por estarem situados ou em zona sensível ou na zona residencial Mercês.

Desta forma, fica claro observar que todos os pontos estão acima de 55 dB(A), o que representa que nenhum dos 22 pontos estão em conformidade com os limites praticados na lei.

Se observar os 39 pontos, cujo limite máximo não deve ultrapassar os 65 dB(A), apenas 12 estão dentro do limite permitido pela legislação, o que caracteriza poluição sonora na maior parte da região analisada.

Cabe destacar que, na Comunidade europeia, níveis sonoros acima de 5 dB(A) dos limites permitido, são indicados para que sejam ponderadas medidas de redução do ruído. O que chama atenção nesta pesquisa é que, de todos os pontos medidos, 36 pontos estão acima desta faixa de 5 dB(A), dos quais 17 estão acima de 10 dB(A) do limite permitido, o que dificulta as medidas mitigatórias na fonte, sendo necessárias também, medidas diretas no receptor.

Cabe ressaltar que estes níveis sonoros elevados que se encontram muito acima do permitido pela lei, podem ocasionar problemas acentuados com relação à atividades desempenhadas nestes estabelecimentos, tanto para o conforto daqueles que estão enfermos nos hospitais, quanto para aqueles que precisam de concentração nas escolas.

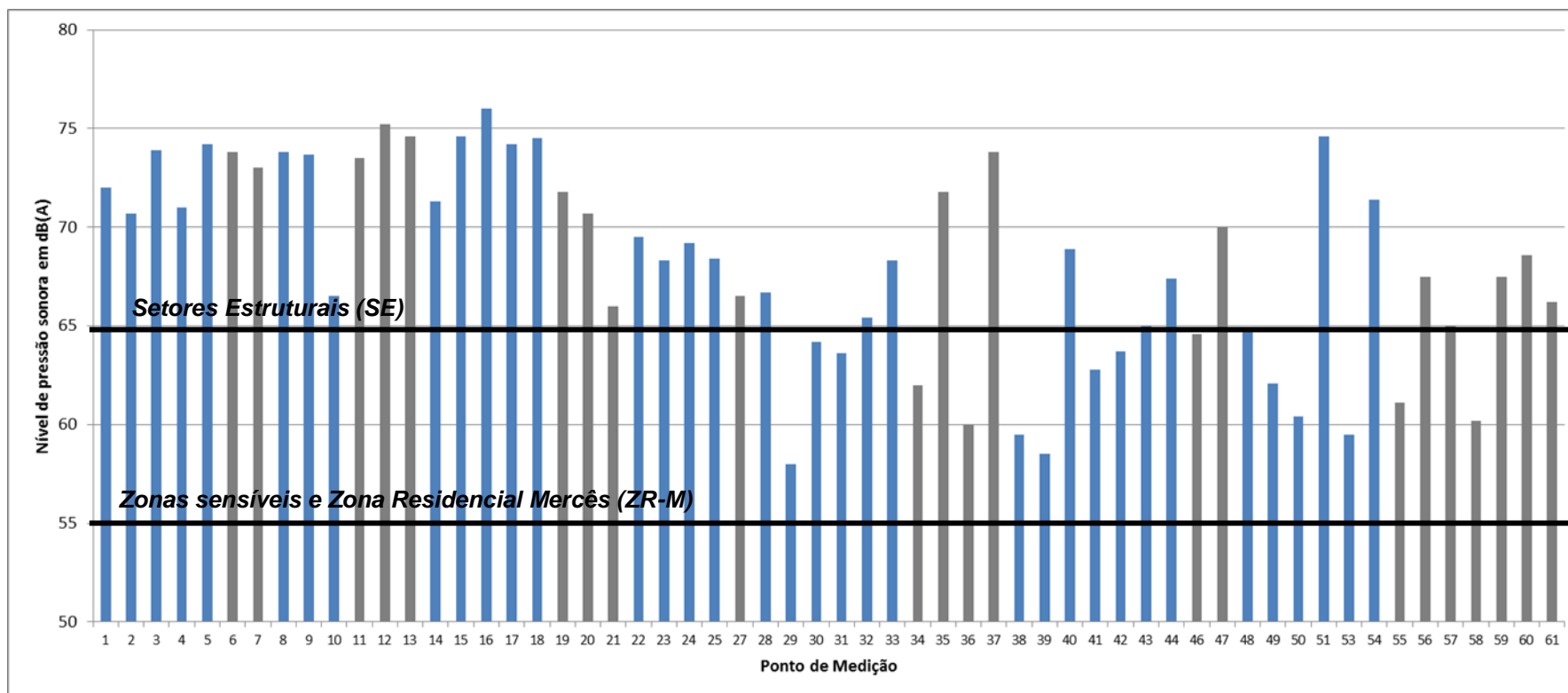


FIGURA 41 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE. A LINHA SUPERIOR QUE CORTA O GRÁFICO REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PREVISTO NA LEGISLAÇÃO PARA OS PONTOS DE MEDIÇÃO REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM AZUL. A LINHA INFERIOR REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PERMITIDO PARA ZONAS DE SILÊNCIO E ZR-M REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM CINZA.

FONTE: O Autor (2012)

6.2.2 Mapeamento sonoro

O mapeamento de cada trecho foi desenvolvido para a avaliação do impacto ambiental causado pelo ruído do tráfego, mas também para a avaliação prévia da eficácia de alternativas de controle do ruído que possam ser adotadas.

Uma análise prévia de um mapa de ruído permite identificar as fontes de ruído mais importantes e observar quais locais estão expostos a níveis muito altos.

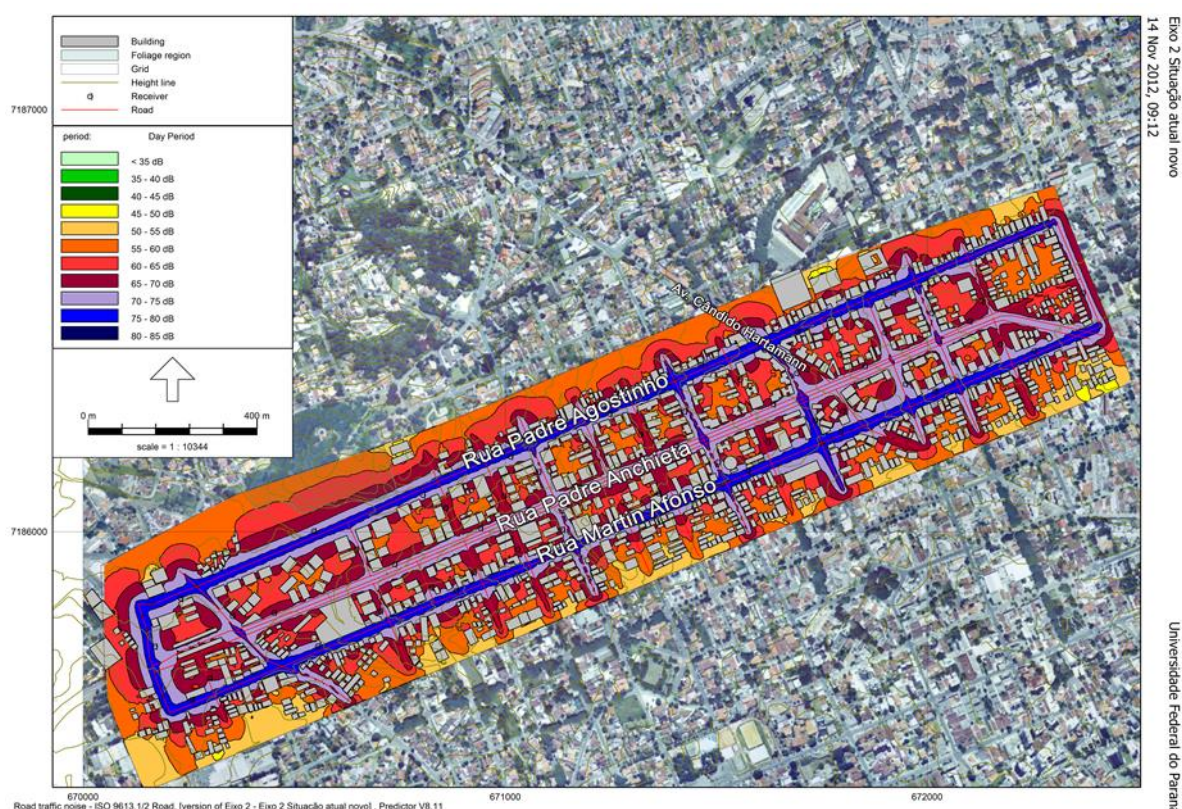


FIGURA 42 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 2 CALCULADO NO PREDICTOR PARA O INDICADOR L_{DAY} .

FONTE: O Autor (2012)

Assim como no trecho anterior, basta uma visualização geral no mapa gerado para o Trecho 2 na Figura 42 que é possível perceber a predominância de cores escuras. Ou seja, mesmo sem um comparativo com as legislações ou uma análise aprofundada, é notável a presença de níveis de pressão sonora elevados.

A via central no mapa é a Rua Padre Anchieta que contém a canaleta para o transporte de massa (ônibus biarticulados) e as pistas lentas para atendimento às atividades lindeiras. Os níveis sonoros nesta via apresentam valores numa faixa de 70 a

75 dB(A), valor considerado elevado, porém justificável pelo grande número de ônibus biarticulados que trafegam na região.

As duas vias externas no mapa, também conhecidas como vias “rápidas”, tem sentido único de circulação, destinadas ao fluxo contínuo de veículos. A avenida que está na parte superior do mapa é a Rua Padre Agostinho que começa no centro e vai até a região oeste da cidade, a avenida que está situada na parte inferior do mapa é a Rua Martin Afonso que tem sentido oeste- centro da cidade. Os níveis sonoros nestas vias apresentaram valores numa faixa de 75 a 80 dB(A). Valores muito elevados para uma região onde existem muitas residências. Esses níveis elevados podem ser justificados devido ao grande fluxo de veículos e a alta velocidade média observada no levantamento em campo.

As outras vias que apresentam elevados níveis sonoros são as que margeiam um grande terminal de ônibus próximo ao shopping da região que traz muita circulação de veículos e pessoas para a região.

Considerando a determinação da Lei Municipal nº 10.625/2002, hospitais e escolas estão definidos como zona de silêncio e devem ser atendidos os limites estabelecidos para ZR-1 (máximo de 55 dB(A) no período diurno), independentemente da zona de uso e deve ser observado o raio de 200 m (duzentos metros) de distância. A situação geral piora porque há uma faculdade e um centro médico no trecho, locais considerados sensíveis ao ruído. Por fim nota-se que não há na região locais onde os níveis estão abaixo dos 55 dB(A).

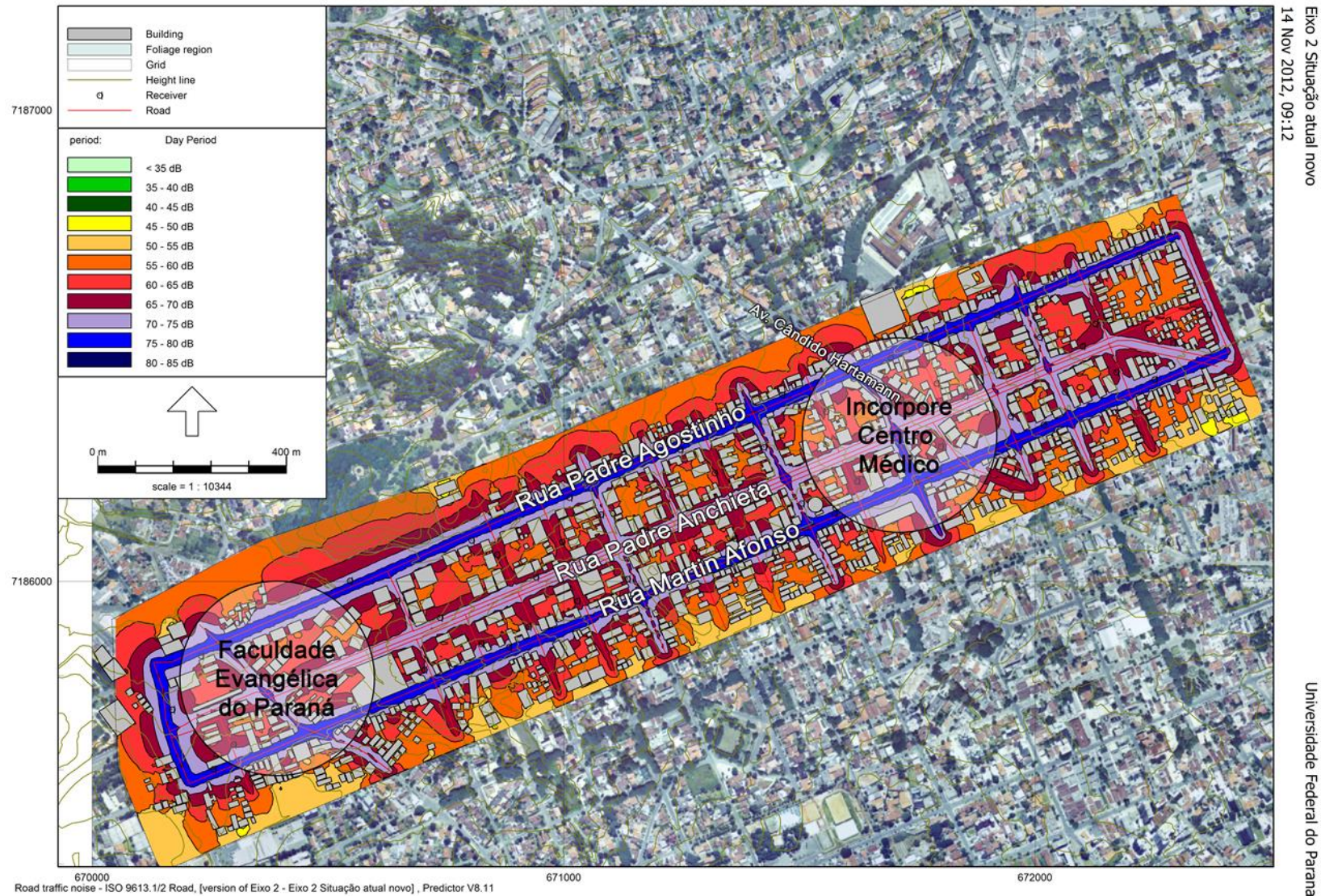


FIGURA 43 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 2 CALCULADO NO PREDICTOR, ILUSTRANDO LOCAIS CHAMADOS DE ZONAS SENSÍVEIS, COMO HOSPITAIS E ESCOLAS.

FONTE: O Autor (2012)

6.3 TRECHO 3

6.3.1 Tabulação dos dados

A comparação dos dados medidos e simulados foi realizada para os 60 pontos avaliados no trecho 3 e os resultados são mostrados na Tabela 7 a seguir.

TABELA 7 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.

PONTO DE MEDIÇÃO	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE L_{EQ} EM dB(A)		DIFERENÇA ENTRE A MEDIÇÃO E A SIMULAÇÃO EM dB(A)
	MEDIÇÃO	SIMULAÇÃO	
1	71,6	71,5	-0,1
2	71,3	70,8	-0,5
3	66,2	70,0	3,8
4	73,5	75,3	1,8
5	74,4	77,6	3,2
6	71,5	73,7	2,2
7	73,3	75,5	2,2
8	75,6	75,0	-0,6
9	73,3	76,5	3,2
10	75,1	75,8	0,7
11	73,0	76,3	3,3
12	75,4	72,5	-2,9
13	69,1	70,8	1,7
14	70,8	72,7	1,9
15	69,2	72,1	2,9
16	75,2	70,6	-4,6
17	64,6	63,6	-1,0
18	63,7	66,5	2,8
19	65,8	68,2	2,4
20	68,6	69,3	0,7
21	72,4	76,8	4,4
22	68,9	71,0	2,1
23	70,2	72,9	2,7
24	69,6	72,2	2,6
25	65,2	62,0	-3,2
26	63,8	64,1	0,3
27	62,5	65,4	2,9
28	63,1	62,4	-0,7
29	70,8	70,3	-0,5
30	71,3	72,1	0,8
31	73,2	75,2	2,0

continua

TABELA 7 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.

conclusão

PONTO DE MEDIÇÃO	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE L_{EQ} EM dB(A)		DIFERENÇA ENTRE A MEDIÇÃO E A SIMULAÇÃO EM dB(A)
	MEDIÇÃO	SIMULAÇÃO	
32	71,9	73,7	1,8
33	70,6	71,9	1,3
34	71,6	73,8	2,2
35	64,5	64,0	-0,5
36	63,2	64,6	1,4
37	69,1	72,3	3,2
38	63,5	66,3	2,8
39	62,2	63,4	1,2
40	67,4	69,0	1,6
41	72,4	75,0	2,6
42	70,2	70,7	0,5
43	73,4	72,1	-1,3
44	74,9	75,2	0,3
45	72,1	75,6	3,5
46	69,8	73,0	3,2
47	72,0	72,5	0,5
48	71,5	73,3	1,8
49	68,0	71,5	3,5
50	68,3	71,4	3,1
51	68,4	69,8	1,4

FONTE: O Autor (2012)

Os mapas foram calibrados com as medições, sendo que a diferença entre os níveis medidos e os simulados foi menor do que os 4,6 dB(A) recomendados pela WG-AEN em 2002.

Segundo a Lei Municipal nº 10.625/2002, hospitais e escolas são definidos como zona de silêncio e devem ser atendidos os limites estabelecidos para ZR-1 (máximo de 55 dB(A) no período diurno), independentemente da zona de uso e deve ser observado o raio de 200m (duzentos metros) de distância.

Isto posto, a figura 44 a seguir ilustra os pontos que estão neste raio de 200 m em dois pontos sensíveis (cinco escolas e um hospital) no trecho 3, a figura também destaca que 17 dos 51 pontos analisados estão situados na Zona de Silêncio, destes, todos os pontos estão acima dos 55 dB(A) previstos na legislação. A figura 46 a seguir ilustra os pontos que estão neste raio de 200 m em vários pontos sensíveis (escolas e hospital) no trecho 3:

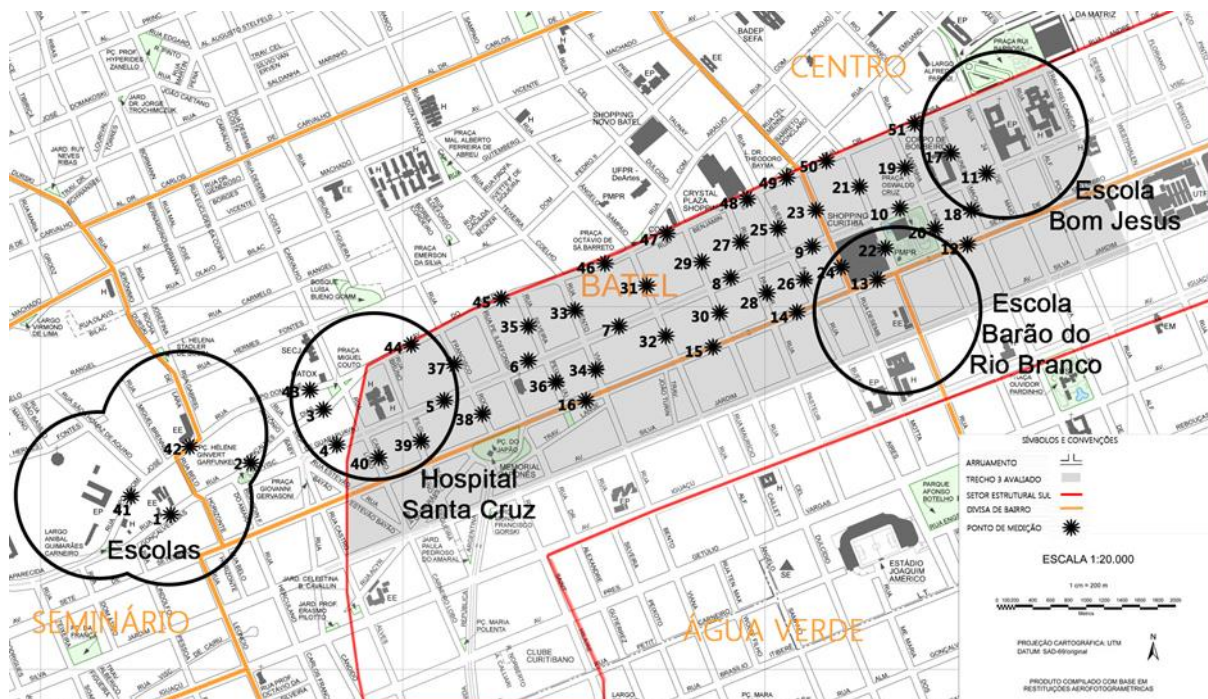


FIGURA 44 - PONTOS DE MEDIÇÃO DENTRO DAS ZONAS DE SILÊNCIO, NÍVEL MÁXIMO PERMITIDO DE 55 dB(A).

FONTE: O Autor (2012)

O gráfico a seguir (Figura 45) ilustra os pontos de medição obtidos em campo. A linha que corta o gráfico em 65 dB(A), é o máximo permitido pela legislação vigente a Lei Municipal nº 10.625/2002 para o período diurno no Setor Especial Estrutural Sul, na Zona Residencial 4 (ZR-4) e na Zona Central (ZC). A linha que corta o gráfico em 55 dB(A), representa o máximo permitido naqueles pontos pela legislação vigente a Lei Municipal nº 10.625/2002 para o período diurno para os pontos localizados nas zonas sensíveis.

O gráfico mostra que dos 51 pontos medidos na região, 34 (representados nas barras azuis) estão na região de no máximo 65 dB(A) estipulados pela lei. Enquanto os 17 restantes (representados nas barras cinza) não podem ultrapassar 55 dB(A) por estarem situados em região de zona sensível.

Desta forma, fica claro observar que todos os pontos estão acima de 55 dB(A), o que representa que nenhum dos 17 pontos estão em conformidade com os limites praticados na lei.

Se observar os 34 pontos, cujo limite máximo não deve ultrapassar os 65 dB(A), apenas 6 estão dentro do limite permitido pela legislação, o que caracteriza poluição sonora na maior parte da região analisada.

Cabe destacar que, na Comunidade europeia, níveis sonoros acima de 5 dB(A) dos limites permitido, são indicados para que sejam ponderadas medidas de redução do ruído. O que chama atenção neste trabalho é que, de todos os pontos medidos, 35 pontos estão acima desta faixa de 5 dB(A), dos quais 17 estão acima de 10 dB(A) do limite permitido, o que dificulta as medidas mitigatórias na fonte, sendo necessárias também, medidas diretas no receptor.

Cabe ressaltar que estes níveis sonoros elevados que se encontram muito acima do permitido pela lei, podem ocasionar problemas acentuados com relação a atividades desempenhadas nestes estabelecimentos, tanto para o conforto daqueles que estão enfermos nos hospitais, quanto para aqueles que precisam de concentração nas escolas.

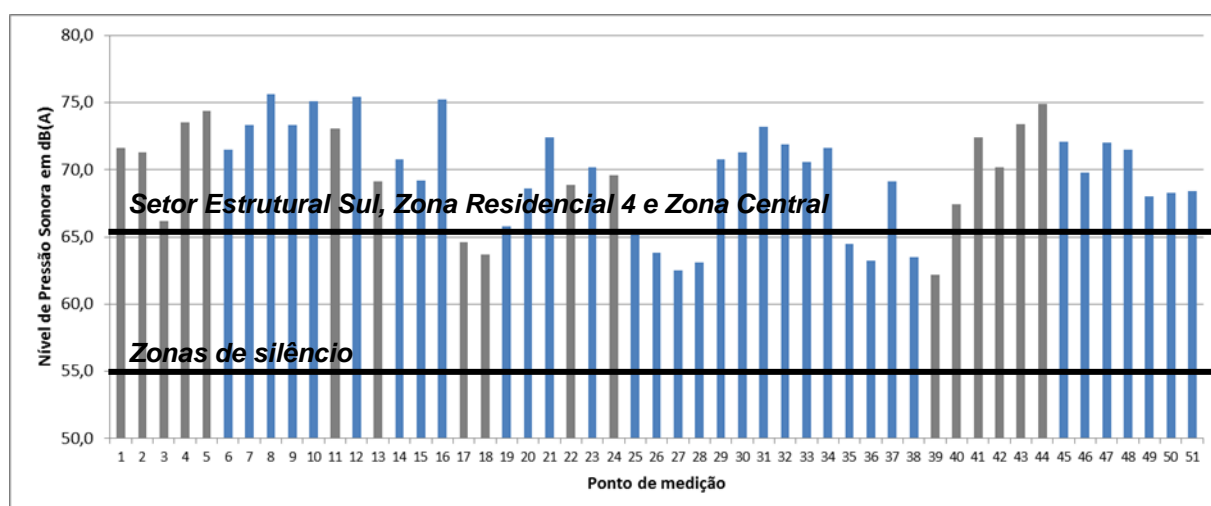


FIGURA 45 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE. A LINHA SUPERIOR QUE CORTA O GRÁFICO REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PREVISTO NA LEGISLAÇÃO PARA OS PONTOS DE MEDIÇÃO REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM AZUL. A LINHA INFERIOR REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PERMITIDO PARA ZONAS DE SILÊNCIO REPRESENTADAS PELAS BARRAS COLORIDAS EM CINZA.

FONTE: O Autor (2012)

6.3.2 Mapeamento sonoro

O mapeamento de cada trecho foi desenvolvido para a avaliação do impacto ambiental causado pelo ruído do tráfego, mas também para a avaliação prévia da eficácia de alternativas de controle do ruído que possam ser adotadas.

Uma análise prévia de um mapa de ruído permite identificar as fontes de ruído mais importantes e observar quais locais estão expostos a níveis muito elevados.

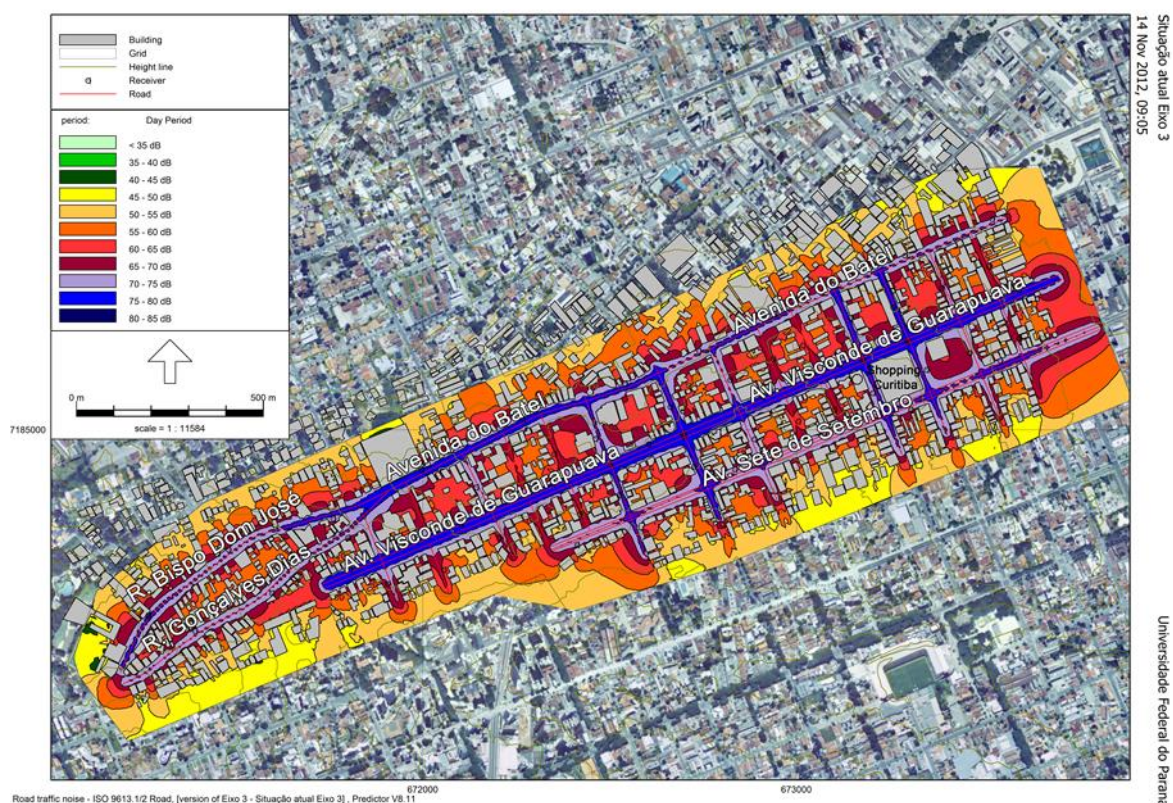


FIGURA 46 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 3 CALCULADO NO PREDICTOR PARA O INDICADOR L_{DAY} .

FONTE: O Autor (2012)

O mapa mostrado na figura 46 demonstra a situação atual no trecho 3 que é o mais próximo do centro da cidade de Curitiba. A situação mostra que os níveis sonoros são elevados, representados por cores mais escuras, o que é compreensível porque o número de veículos e pessoas é maior do que nas outras regiões analisadas.

Na parte superior do mapa, está localizada a Avenida do Batel, conhecida por ser bastante movimentada na cidade por conta da vasta opção de bares e restaurantes que figuram nesta avenida e na sua continuação, a Rua Bispo Dom José. O movimento é grande nesta região e o mapa sonoro transparece com níveis acima de 65 dB(A) nas fachadas das edificações.

A Avenida situada no centro do mapa é uma das mais movimentadas de toda a cidade de Curitiba, a Av. Visconde de Guarapuava é uma via de sentido único, separada por um canteiro central. Níveis acima de 70 dB(A) são comuns por toda a extensão avaliada, com alguns pontos que chegam a 80 dB(A). Há muitas residências e comércio

nessa região, e o mapa sonoro mostra que as pessoas estão expostas a níveis muito elevados, sendo necessárias medidas de controle.

A Avenida na parte inferior do mapa é a Av. Sete de Setembro que contém a canaleta para o transporte de massa (ônibus biarticulados) e as pistas lentas para atendimento às atividades lindeiras. Os níveis sonoros nesta via apresentam valores numa faixa de 70 a 75 dB(A), valor considerado alto porém justificável pelo grande número de ônibus biarticulados que trafegam na região.

As outras vias que apresentam elevados níveis sonoros são as que margeiam um grande shopping da região que gera muita circulação de veículos e pessoas para a região, além disso, há muito movimento nas ruas perpendiculares à estas avenidas, tais ruas auxiliam o caminho do centro da cidade para os bairros e vice-versa.

Considerando a determinação da Lei Municipal nº 10.625/2002, hospitais e escolas estão definidos como zona de silêncio e devem ser atendidos os limites estabelecidos para ZR-1 (máximo de 55 dB(A) no período diurno), independentemente da zona de uso e deve ser observado o raio de 200m (duzentos metros) de distância. A situação geral piora, porque há uma faculdade e um centro médico no trecho, locais considerados sensíveis ao ruído. Por fim nota-se que não há na região locais onde os níveis estão abaixo dos 55 dB(A).

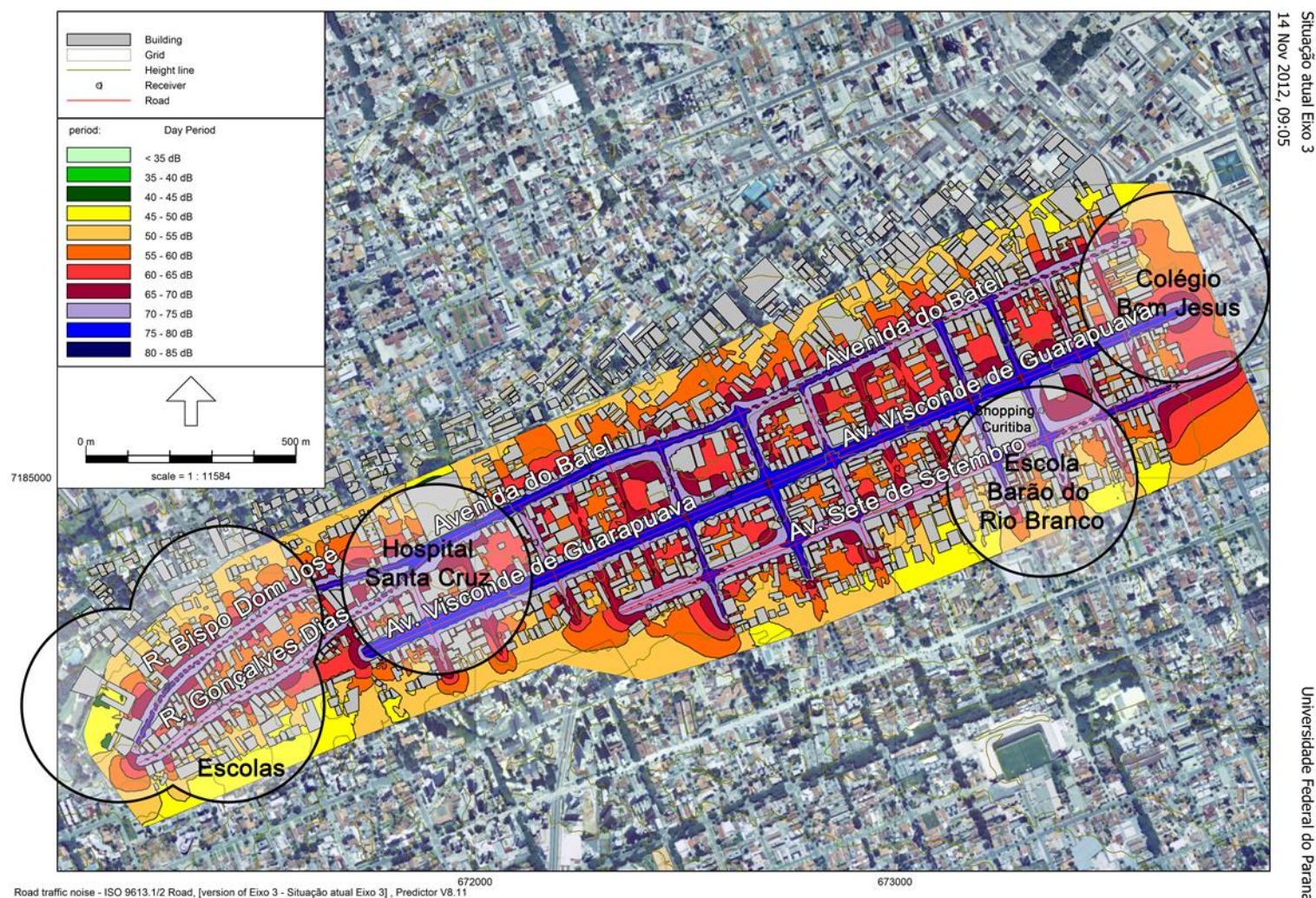


FIGURA 47 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 3 CALCULADO NO PREDICTOR, ILUSTRANDO LOCAIS CHAMADOS DE ZONAS SENSÍVEIS, COMO HOSPITAIS E ESCOLAS.

FONTE: O Autor (2012)

6.4 TRECHO 4

6.4.1 Tabulação dos dados

A comparação dos dados medidos e simulados foi realizada para os 60 pontos avaliados no Trecho 4 e os resultados são mostrados na Tabela 8 a seguir.

TABELA 8 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS.

PONTO DE MEDIÇÃO	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE L_{EQ} EM dB(A)		DIFERENÇA ENTRE A MEDIÇÃO E A SIMULAÇÃO EM dB(A)
	MEDIÇÃO	SIMULAÇÃO	
1	72,5	76,2	3,7
2	74,3	75,5	1,2
3	69,5	70,3	0,8
4	75,0	73,7	-1,3
5	73,7	75,5	1,8
6	74,5	76,6	2,1
7	71,2	74,1	2,9
8	73,3	76,3	3,0
9	67,3	71,3	4,0
10	66,6	69,4	2,8
11	69,8	69,3	-0,5
12	74,0	74,6	0,6
13	61,4	62,9	1,5
14	73,3	74,5	1,2
15	64,3	65,4	1,1
16	69,6	70,4	0,8
17	71,2	74,1	2,9
18	73,2	72,8	-0,4
19	70,4	71,6	1,2
20	68,1	72,4	4,3
21	69,0	70,6	1,6
22	60,9	61,3	0,4
23	72,2	73,5	1,3
24	71,4	72,6	1,2
25	73,1	76,2	3,1
26	76,5	75,4	-1,1
27	70,5	73,0	2,5
28	60,0	64,2	4,2
29	74,2	73,9	-0,3
30	69,9	72,4	2,5
31	72,0	73,1	1,1

Continua

TABELA 8 - DIFERENÇA ENTRE OS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES ENCONTRADOS NAS MEDIÇÕES E NAS SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

conclusão

PONTO DE MEDIÇÃO	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE L_{EQ} EM dB(A)		DIFERENÇA ENTRE A MEDIÇÃO E A SIMULAÇÃO EM dB(A)
	MEDIÇÃO	SIMULAÇÃO	
32	72,1	75,8	3,7
33	71,2	72,3	1,1
34	58,4	62,2	3,8
35	77,8	81,1	3,3
37	56,3	59,3	3,0
38	67,2	71,0	3,8
39	61,5	62,2	0,7
40	69,2	71,8	2,6
41	70,5	74,3	3,8
42	54,2	57,6	3,4
44	59,8	60,7	0,9
45	55,4	57,9	2,5
46	54,7	58,1	3,4
47	60,2	58,6	-1,6
48	54,1	52,7	-1,4
49	66,2	69,1	2,9
50	72,7	75,1	2,4
51	69,8	73,4	3,6
52	72,3	74,6	2,3
53	68,8	72,2	3,4
54	58,2	60,5	2,3
55	58,3	60,5	2,2
56	59,7	62,8	3,1
57	69,6	71,2	1,6
58	61,9	59,5	-2,4
59	55,0	56,3	1,3
60	57,1	58,9	1,8

FONTE: O Autor (2012)

Segundo a Lei Municipal nº 10.625/2002, hospitais e escolas são definidos como zona de silêncio e devem ser atendidos os limites estabelecidos para ZR-1 (máximo de 55 dB(A) no período diurno), independentemente da zona de uso e deve ser observado o raio de 200m (duzentos metros) de distância.

Isto posto, a figura 48 ilustra os pontos que estão neste raio de 200 m em três pontos sensíveis (duas escolas e um hospital) no trecho 4. A figura também destaca que 13 dos 60 pontos analisados estão situados na Zona de Silêncio.



FONTE: O Autor (2012)

FONTE: O Autor (2012)

O gráfico a seguir (Figura 49) ilustra os pontos de medição obtidos em campo. A linha que corta o gráfico em 65 dB(A) é o máximo permitido pela legislação vigente a Lei Municipal nº 10.625/2002 para o período diurno no Setor Especial Estrutural, na Zona Residencial 4 (ZR-4) e no Setor Estrutural Affonso Camargo (SE-AC). A linha que corta o gráfico em 55 dB(A) representa o máximo permitido naqueles pontos pela legislação vigente a Lei Municipal nº 10.625/2002 para o período diurno para os pontos localizados nas zonas sensíveis.

O gráfico mostra que dos 60 pontos medidos na região, 45 (representados nas barras azuis) estão na região de no máximo 65 dB(A) estipulados pela lei. Enquanto os 15 restantes (representados nas barras cinza) não podem ultrapassar 55 dB(A) por estarem situados em região de zona sensível.

Desta forma, fica claro observar que quase todos os pontos estão acima de 55 dB(A), o que representa que apenas um dos 15 pontos estão em conformidade com os limites praticados na lei.

Se observar os 45 pontos, cujo limite máximo não deve ultrapassar os 65 dB(A), apenas 13 estão dentro do limite permitido pela legislação, o que caracteriza poluição sonora na maior parte da região analisada.

Cabe destacar que, na Comunidade europeia, níveis sonoros acima de 5 dB(A) dos limites permitido, são indicados para que sejam ponderadas medidas de redução do ruído. O que nota-se neste estudo é que, de todos os pontos medidos, 31 pontos estão acima desta faixa de 5 dB(A), dos quais 9 estão acima de 10 dB(A) do limite permitido, o que dificulta as medidas mitigatórias na fonte, sendo necessárias também, medidas diretas no receptor.

Ressalta-se que estes níveis sonoros elevados que se encontram muito acima do permitido pela lei, podem ocasionar problemas acentuados com relação a atividades desempenhadas nestes estabelecimentos, tanto para o conforto daqueles que estão enfermos nos hospitais, quanto para aqueles que precisam de concentração nas escolas.

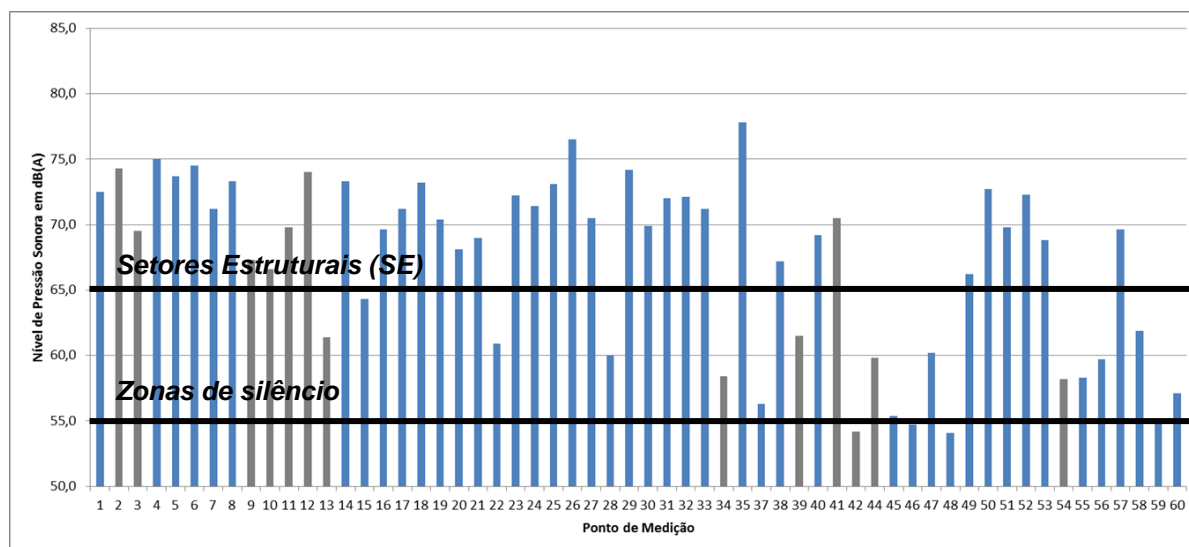


FIGURA 49 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE. A LINHA SUPERIOR QUE CORTA O GRÁFICO REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PREVISTO NA LEGISLAÇÃO PARA OS PONTOS DE MEDIÇÃO REPRESENTADOS PELAS BARRAS COLORIDAS EM AZUL. A LINHA INFERIOR REPRESENTA O LIMITE MÁXIMO PERMITIDO PARA ZONAS DE SILÊNCIO REPRESENTADAS PELAS BARRAS COLORIDAS EM CINZA.

FONTE: O Autor (2012)

6.4.2 Mapeamento sonoro

O mapeamento de cada eixo foi desenvolvido para a avaliação do impacto ambiental causado pelo ruído do tráfego, mas também para a avaliação prévia da eficácia de alternativas de controle do ruído que possam ser adotadas.

Uma análise prévia de um mapa de ruído permite identificar as fontes de ruído mais importantes e observar quais locais estão expostos a níveis muito altos.

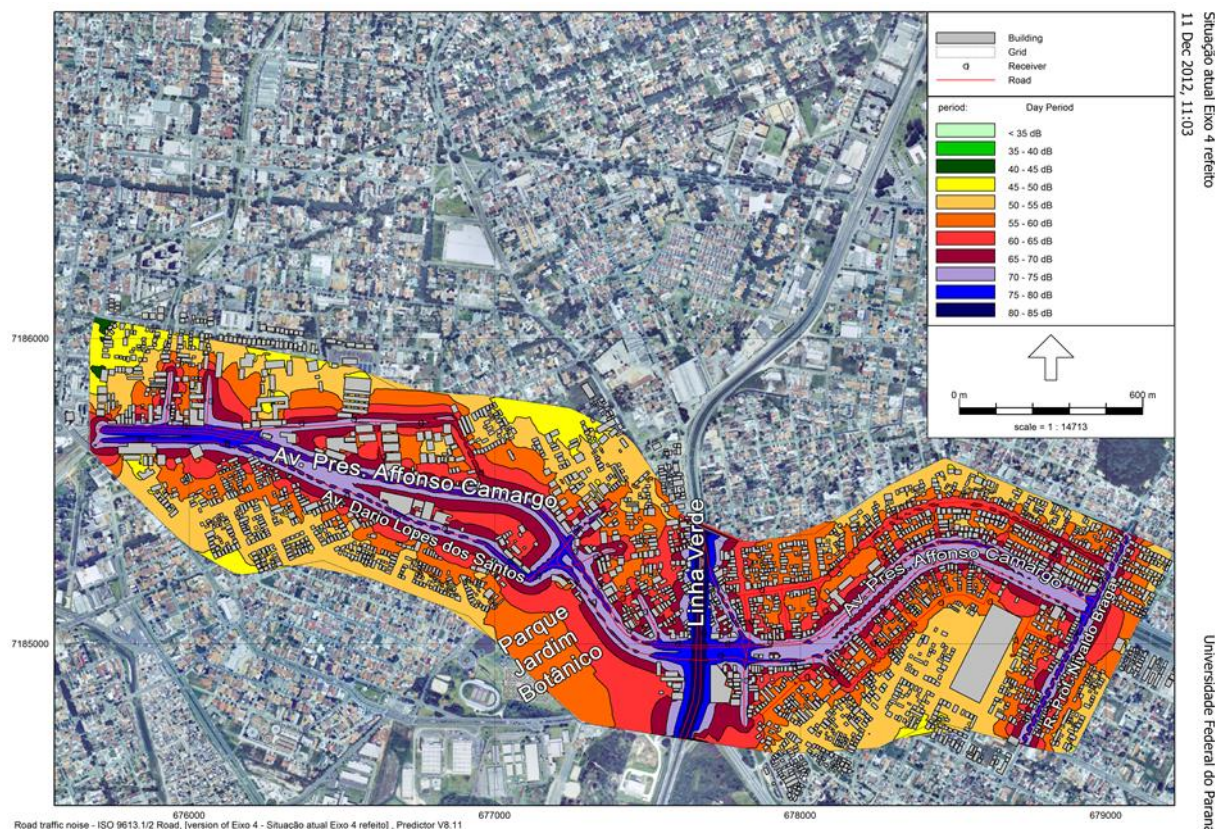


FIGURA 50 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 3 CALCULADO NO PREDICTOR PARA O INDICADOR L_{DAY} .

FONTE: O Autor (2012)

O mapa mostrado na figura anterior demonstra a situação atual no trecho 4 que é o único que não apresenta o sistema trinário. A situação mostra que os níveis sonoros são elevados, representados por cores mais escuras, nas fachadas das edificações da Av. Pres. Affonso Camargo e nas proximidades com a Linha Verde.

Como não há o sistema trinário neste trecho, há ausência das chamadas vias rápidas que seguiriam paralelamente a Av. Pres. Affonso Camargo. Desta forma, os níveis sonoros encontrados nas medições e demonstrados no mapa são menores que os níveis encontrados nos outros trechos avaliados. Porém, isto não indica que estão dentro da faixa permitida pela legislação que é de 65 dB(A) na região toda exceto nas proximidades de áreas sensíveis.

A circulação de veículos na Av. Pres. Affonso Camargo é intensa porque essa avenida tem sentido duplo, isto é, serve tanto para ir dos bairros da região leste para o centro quanto para o caminho contrário.

As outras vias que apresentam elevados níveis sonoros são a Dário Lopes dos Santos que conduz ao Jardim Botânico, um parque tradicional da cidade; a linha Verde que passa por um processo de transformação de rodovia para grande avenida e a Rua Professor Nivaldo Braga que é movimentada pela presença de um terminal de ônibus em sua esquina com a Pres. Affonso Camargo.

Considerando a determinação da Lei Municipal nº 10.625/2002, hospitais e escolas estão definidos como zona de silêncio e devem ser atendidos os limites estabelecidos para ZR-1 (máximo de 55 dB(A) no período diurno), independentemente da zona de uso e deve ser observado o raio de 200m (duzentos metros) de distância. A situação geral se agrava porque há hospitais e escolas no trecho, locais considerados sensíveis ao ruído. Por fim nota-se que não há na região, locais onde os níveis estão abaixo dos 55 dB(A). A figura a seguir destaca as zonas de silêncio em um raio de 200 m:

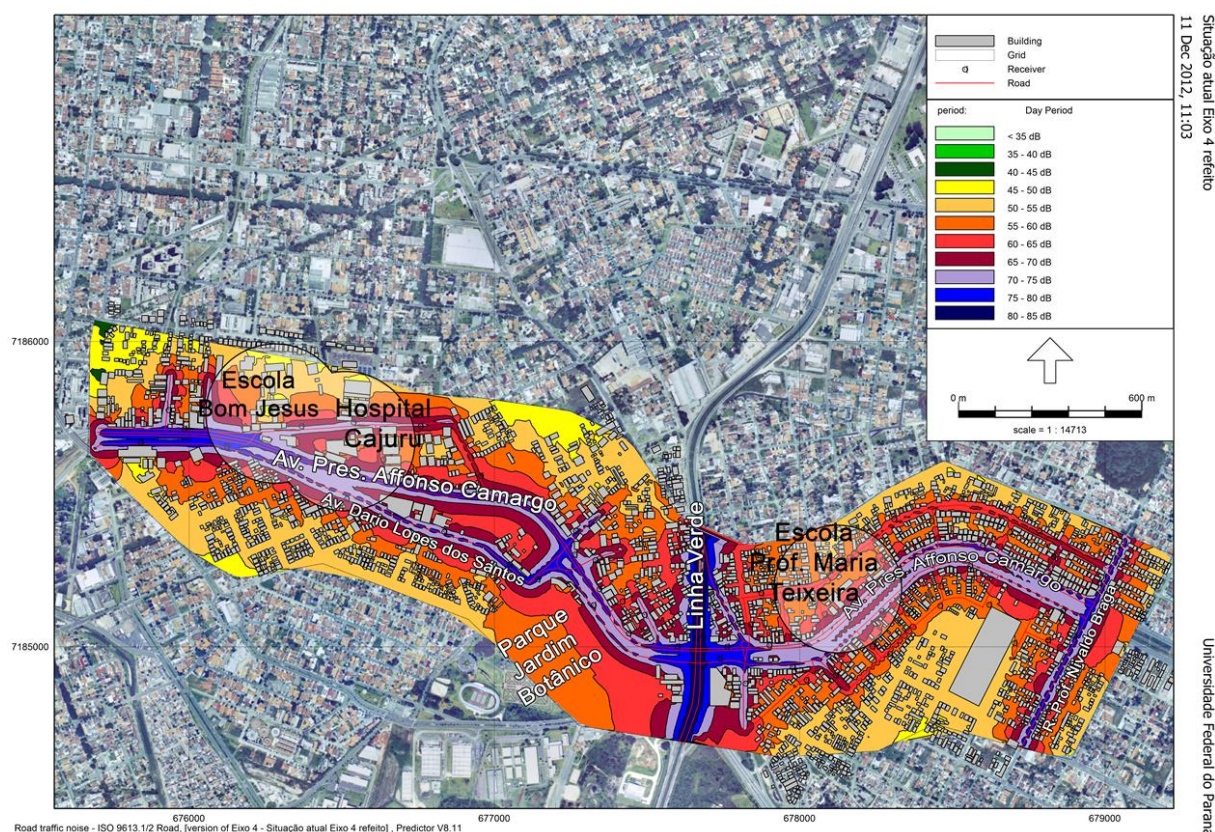


FIGURA 51 - MAPA DE RUÍDO DO TRECHO 4 CALCULADO NO PREDICTOR, ILUSTRANDO LOCAIS CHAMADOS DE ZONAS SENSÍVEIS, COMO HOSPITAIS E ESCOLAS.
 FONTE: O Autor (2012)

6.5 ANÁLISE DAS REGIÕES SENSÍVEIS AO RUÍDO

Como descrito nos capítulos anteriores, há muitas regiões consideradas pela legislação como zonas de silêncio, que são áreas sensíveis ao ruído. São elas: escolas, faculdades, clínicas médicas, hospitais e postos de saúde. Desta forma, foram selecionadas algumas destas instituições para uma avaliação mais detalhada, com mapas acústicos que simulam a quantidade de ruído que atinge a fachada destas edificações. Como o número de áreas sensíveis é elevado, optou-se pela escolha de 5 (cinco) para uma avaliação mais detalhada. Sendo:

1. Hospital do Trabalhador no trecho 1;
2. Hospital IPO no trecho 1;
3. Hospital Santa Cruz no trecho 3;
4. Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat no trecho 4;
5. Escola Estadual Prof. Maria Aguiar Teixeira no trecho 4.

Áreas sensíveis ao ruído são as regiões onde as medidas de planejamento e de redução do ruído devem ser executadas prioritariamente. Para identificar essas áreas, foram destacados em cada um dos mapas apresentados no capítulo anterior os hospitais e escolas de cada um dos trechos analisados. Após realizado, parte-se para uma análise mais detalhada em cada um destas instituições. Fez-se um cenário de referência que representa o “panorama acústico” atual e após são apresentadas medidas hipotéticas em relação ao ruído que podem mudar este panorama acústico. Serão os cenários 1, 2 e 3 respectivamente.

No cenário 1, foi adotada uma medida de redução na fonte. Para realizar tal medida, é criada uma hipótese de que a quantidade de veículos seja reduzida em 50% da atual.

No cenário 2, foi adotado outra medida de redução na fonte. Substituição total de ônibus com motor a diesel, por ônibus com motor elétrico.

No cenário 3, foi adotada uma situação onde nenhuma medida é tomada por dez anos. É uma simulação onde o número de veículos aumenta em 56% durante os 10 anos.

6.5.1 Cenário de Referência

Hospital do Trabalhador

O hospital do trabalhador é uma instituição de saúde controlada pelo governo do estado do Paraná que dispõe de uma grande capacidade instalada nas mais diversas áreas da saúde. Possui clínicas de trauma, pediatria, maternidade, infectologia, entre outras. A localização do hospital é no bairro Novo Mundo, com endereço na Avenida República Argentina, 4406. A figura a seguir mostra a localização exata do hospital.



FIGURA 52 - LOCALIZAÇÃO DO HOSPITAL DO TRABALHADOR, DESTACADO EM VERDE, NO BAIRRO NOVO MUNDO, ENTRE AS RUAS ISAAC GUELMANN E AV. REPÚBLICA ARGENTINA.
FONTE: Adaptado de INAV/Geosistemas srl, 2009 in Google Earth for Windows v.5.2 (2012)

No mapa acústico mostrado no trecho 1, é possível observar a quantidade de ruído que atinge o hospital, mas o mapa de fachada em 3D fornece uma melhor visualização da quantidade de ruído em dB(A) do que a visualização 2D, como mostra a figura a seguir:



FIGURA 53 - VISÃO 3D DO HOSPITAL DO TRABALHADOR COM MAPA NA FACHADA DE FRENTE PARA A AV. REPÚBLICA ARGENTINA.

FONTE: O Autor (2012)

O mapa ilustrado na figura 53 mostra que os níveis sonoros que atingem a fachada do Hospital do Trabalhador estão entre 50 e 60 dB(A). Isto revela que os níveis de ruído alcançados ultrapassam os índices máximos recomendados pela legislação vigente na cidade que é de 55 dB(A) no período diurno.

O mapa de ruído com visão 3D mostrado na figura 54, mostra a quantidade de ruído que atinge a fachada voltada para a rua Isaac Guelmann, que é uma “via rápida” com grande movimento de veículos e velocidade média elevada. Este mapa revela que os níveis podem atingir até 80 dB(A) em sua fachada. Esta diferença se deve a proximidade da fachada com a rua Isaac Guelmann, fato que não ocorre na Av. República Argentina que é mais afastada do edifício.

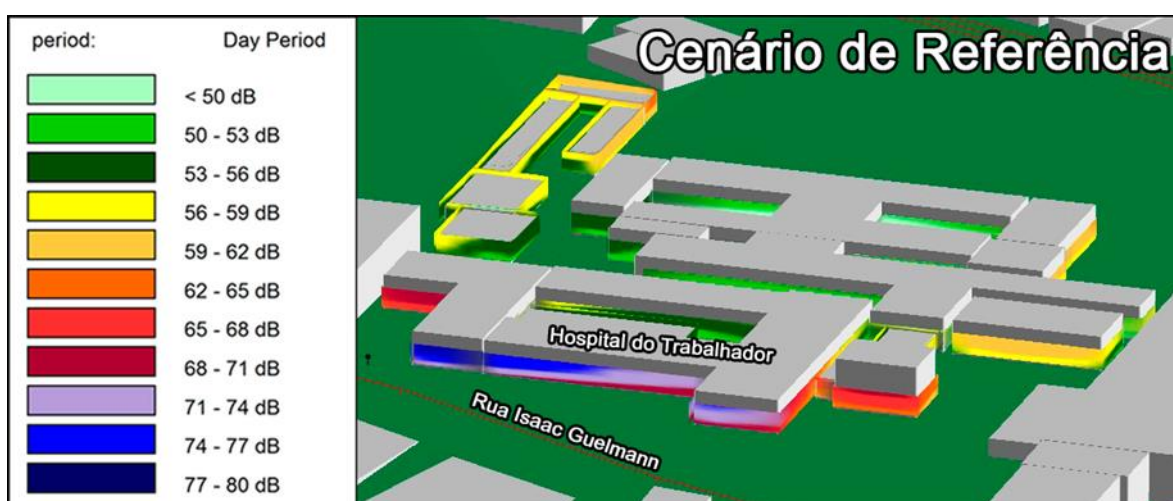


FIGURA 54 - VISÃO 3D DO HOSPITAL DO TRABALHADOR COM MAPA NA FACHADA DE FRENTE PARA A RUA ISAAC GUELMANN.

FONTE: O Autor (2012)

Estes níveis sonoros elevados evidenciam a urgência de que medidas de ação devem ser empregadas para que as pessoas que estão expostas a estes altos índices não tenham mais esse agravante (poluição sonora) interferindo negativamente no descanso e na recuperação que se espera ter dentro de um hospital.

Hospital IPO

O Instituto Paranaense de Otorrinolaringologia (IPO) é um hospital localizado no bairro Água Verde que conta com uma grande estrutura e que atende nas mais diversas áreas da medicina (dermatologia, cardiologia, neurologia, etc) e tem como principal especialidade a área de otorrinolaringologia. O hospital fica localizado na Av. República Argentina, 2069. A figura a seguir mostra um mapa com a exata localização do hospital.



FIGURA 55 - LOCALIZAÇÃO DO HOSPITAL IPO, DESTACADO EM VERDE, NO BAIRRO ÁGUA VERDE, QUASE ESQUINA ENTRE A RUA GOIÁS E AV. REPÚBLICA ARGENTINA.

FONTE: Adaptado de INAV/Geosistemas srl, 2009 in Google Earth for Windows v.5.2 (2012)

No mapa acústico mostrado no trecho 1, é possível observar a quantidade de ruído que atinge o hospital, mas o mapa de fachada em 3D fornece uma melhor visualização da quantidade de ruído em dB(A) do que a visualização 2D. Como mostra a figura a seguir:

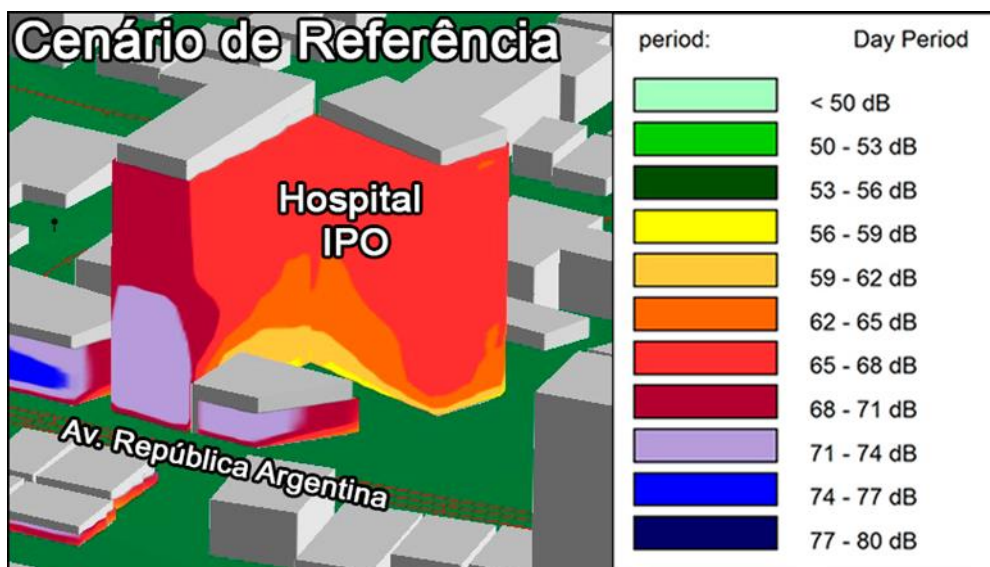


FIGURA 56 - VISÃO 3D DO HOSPITAL IPO COM MAPA NA FACHADA DE FRENTE PARA A AV. REPÚBLICA ARGENTINA.

FONTE: O Autor (2012)

O mapa de ruído com visão 3D mostra a quantidade de ruído que atinge a fachada do hospital com a Av. República Argentina. O mapa mostrado na figura 56 indica que os níveis sonoros que atingem a fachada do Hospital IPO estão entre 60 e 75 dB(A). Isto revela que os níveis de ruído alcançados ultrapassam, e muito, os índices máximos recomendados pela legislação vigente na cidade que é de 55 dB(A) no período diurno.

Novamente, estes níveis sonoros elevados deixam em evidência a urgência de que medidas de ação devem ser empregadas para diminuir a quantidade de ruído, melhorando assim, a qualidade de vida das pessoas que estão no hospital.

Hospital Santa Cruz

O Hospital Santa Cruz é um hospital particular que apresenta atendimento das mais diversas áreas da medicina, entre elas: oncologia, cardiologia, ortopedia e pronto socorro. A localização do hospital é no bairro Batel, com endereço na Avenida do Batel, 1889. A figura a seguir, mostra a localização exata do hospital.



FIGURA 57 - LOCALIZAÇÃO DO HOSPITAL SANTA CRUZ, DESTACADO EM VERDE, NO BAIRRO BATEL.

FONTE: Adaptado de INAV/Geosistemas srl, 2009 in Google Earth for Windows v.5.2 (2012)

No mapa acústico mostrado no trecho 3, é possível observar a quantidade de ruído que atinge o hospital, mas o mapa de fachada em 3D fornece uma melhor visualização da quantidade de ruído em dB(A) do que a visualização 2D. Como mostra a figura a seguir.



FIGURA 58 - VISÃO 3D DO HOSPITAL SANTA CRUZ COM MAPA NA FACHADA.

FONTE: O Autor (2012)

O mapa de ruído com visão 3D mostra a quantidade de ruído que atinge a fachada do hospital com a Av. do Batel. O mapa mostrado na figura 58 indica que os

níveis sonoros que atingem a fachada do Hospital IPO estão entre 60 e 75 dB(A) revela que os níveis de ruído alcançados ultrapassam os índices máximos recomendados pela legislação vigente na cidade que é de 55 dB(A) no período diurno.

Novamente, estes níveis sonoros elevados deixam em evidência a urgência de que medidas de ação devem ser tomadas para diminuir a quantidade de ruído, melhorando assim, a qualidade de vida das pessoas que estão no hospital.

Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat

O hospital universitário Cajuru (HUC) é um hospital geral com ênfase no atendimento ao trauma e emergência, é um hospital privado filantrópico que faz parte da área de saúde do Grupo Marista com atuação e formação multidisciplinar nas mais diversas áreas da saúde e credenciado pelo Sistema Único de Saúde (SUS). Já o Hospital Marcelino Champagnat é um hospital privado pertencente ao mesmo grupo Marista que possui um vasto corpo clínico atuando em praticamente todas as áreas da saúde. Os dois hospitais ocupam o mesmo terreno, localizado na Av. Pres. Affonso Camargo, 1399 no bairro Cristo Rei na cidade de Curitiba. A figura a seguir, mostra a localização exata dos hospitais:



FIGURA 59 - LOCALIZAÇÃO DO HOSPITAL CAJURU, DESTACADO EM VERDE, E DO HOSPITAL MARCELINO CHAMPAGNAT, DESTACADO EM AZUL, NOS BAIRRO CRISTO REI.

FONTE: Adaptado de INAV/Geosistemas srl, 2009 in Google Earth for Windows v.5.2 (2012)

No mapa acústico mostrado no trecho 4, é possível observar a quantidade de ruído que atinge o hospital, mas o mapa de fachada em 3D fornece uma melhor visualização da quantidade de ruído em dB(A) do que a visualização 2D. Como mostra a figura a seguir:

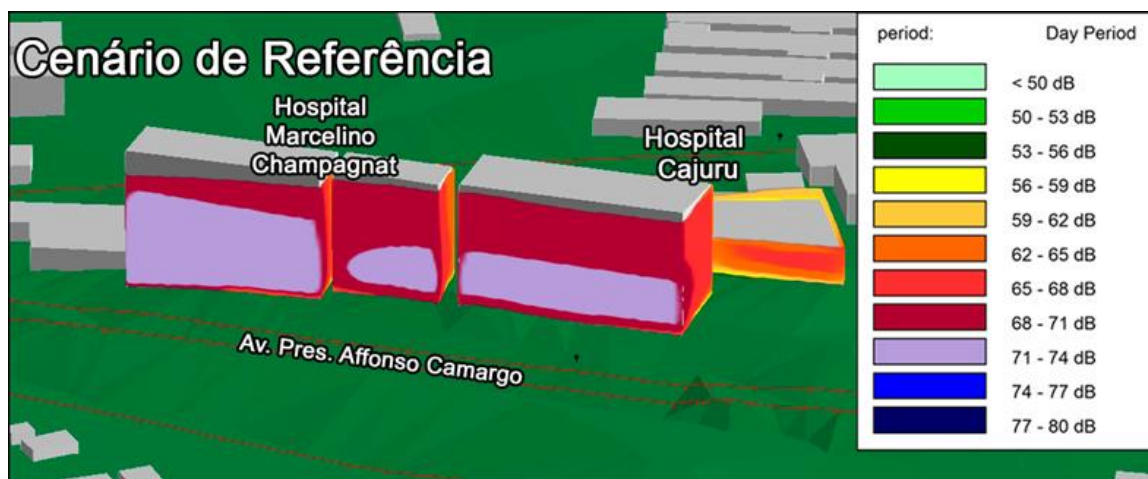


FIGURA 60 - VISÃO 3D DOS HOSPITAIS MARCELINO CHAMPAGNAT E CAJURU COM MAPA NA FACHADA

FONTE: O Autor (2012)

O mapa de ruído com visão 3D mostra a quantidade de ruído que atinge a fachada dos hospitais com a Av. Pres. Affonso Camargo. O mapa mostrado na figura 60 indica que os níveis sonoros que atingem a fachada dos hospitais estão, em sua maioria, entre 70 e 75 dB(A). Isto revela que os níveis de ruído alcançados ultrapassam os índices máximos recomendados pela legislação vigente na cidade que é de 55 dB(A) no período diurno.

Colégio Estadual Prof. Maria Aguiar Teixeira

O Colégio Estadual Professora Maria Aguiar Teixeira – Ensino Fundamental e Médio está localizado próximo ao terminal de ônibus do Capão da Imbuia, na Avenida Presidente Affonso Camargo, 3463 no bairro Capão da Imbuia em Curitiba - PR. A figura a seguir, mostra a localização exata do colégio.



FIGURA 61 - LOCALIZAÇÃO DO COLÉGIO ESTADUAL PROF. MARIA AGUIAR TEIXEIRA, DESTACADO EM VERDE, NOS BAIRRO CAPÃO DA IMBUIA.

FONTE: Adaptado de INAV/Geosistemas srl, 2009 in Google Earth for Windows v.5.2 (2012)

No mapa acústico mostrado no trecho 4, é possível observar a quantidade de ruído que atinge o hospital, mas o mapa de fachada em 3D fornece uma melhor visualização da quantidade de ruído em dB(A) do que a visualização 2D. Como mostra a figura a seguir:



FIGURA 62 - VISÃO 3D DO COLÉGIO ESTADUAL PROF. MARIA AGUIAR TEIXEIRA COM MAPA NA FACHADA.

FONTE: O Autor (2012)

O mapa de ruído com visão 3D mostra a quantidade de ruído que atinge a fachada do colégio com a Av. Pres. Affonso Camargo. O mapa mostrado na figura 62 indica que os níveis sonoros que atingem a fachada dos hospitais estão entre 50 e 75 dB(A). Isto revela que os níveis de ruído alcançados ultrapassam os índices máximos recomendados pela legislação vigente na cidade que é de 55 dB(A) no período diurno.

6.5.2 Cenário 1

No cenário 1 é adotada uma medida de redução na fonte. Para realizar tal medida, foi criada uma hipótese de que a quantidade de veículos seja reduzida em 50% da atual. Essa medida seria possível, se houvesse na cidade um plano de transporte urbano de excelência, com diferentes modos de transporte que realmente funcionassem, aumentando assim a mobilidade. Por exemplo: um bom sistema de metrô, transporte público de boa qualidade, trajetos possíveis de serem utilizados sem veículos a motor, como boas calçadas e ciclovias, além de incentivo por parte da política pública de não utilizar automóveis.

Com esta situação hipotética formulada, o próximo passo foi simular no software Predictor, a situação com uma redução de 50% da quantidade de todos os veículos. Todos os outros parâmetros de entrada (velocidade média, tipo de pavimento, número de fontes, etc.) são mantidos. Dessa maneira, são gerados mapas nas regiões sensíveis e comparados com o cenário de referência para conhecer e quantificar a eficiência da medida proposta.

Hospital do Trabalhador

A figura 63 mostra os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital do trabalhador. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 1 onde houve uma diminuição de 50% dos veículos que trafegam nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há uma diminuição da ordem de 3 dB(A) na fachada voltada para a Av. República Argentina.

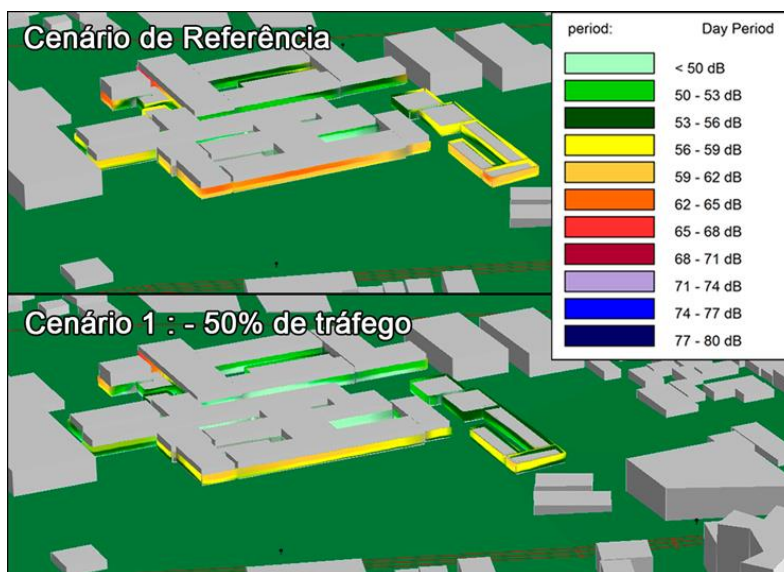


FIGURA 63 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL DO TRABALHADOR. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 1.
 FONTE: O Autor (2012)

A figura 64 mostra os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital do trabalhador com face voltada para a Rua Isaac Guelmann. A figura apresenta uma comparação entre o cenário atual e o cenário 1 onde houve uma diminuição de 50% dos veículos que trafegam nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há uma diminuição de cerca de 3 dB(A) na fachada.

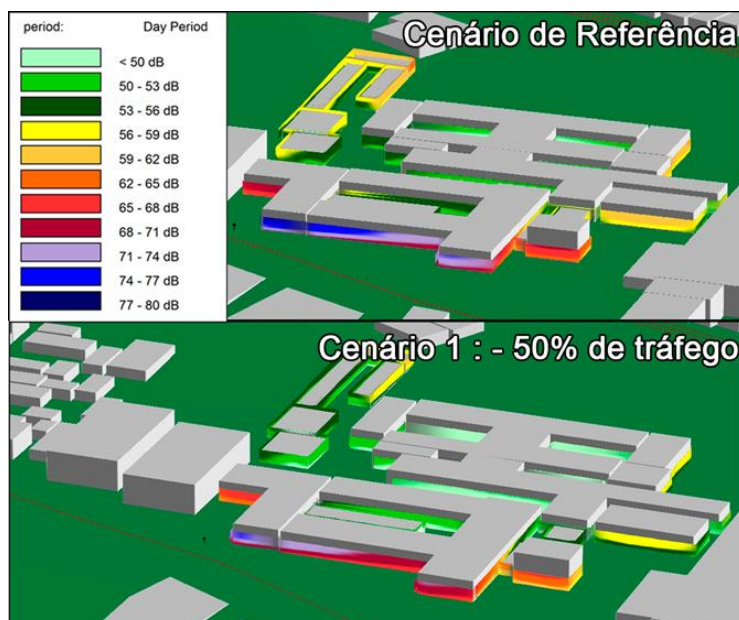


FIGURA 64 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL DO TRABALHADOR. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 1 NA FACHADA DA RUA ISAAC GUELMANN.

FONTE: O Autor (2012)

Esta diminuição de 3 dB(A) não soluciona o problema da poluição sonora na região pelos seguintes motivos:

- 1) Os níveis que atingem as fachadas ainda permanecem acima do permitido pela legislação de Curitiba que é de 55 dB(A).
- 2) Considerando a diminuição dos níveis sonoros (3 dB(A)), a medida de redução de 50% do tráfego total de veículos não se apresenta de forma eficiente, tornando o custo-benefício inviável.

Cabe ressaltar que os níveis sonoros que atingem a fachada da figura anterior tem valores que variam entre 65 e 74 dB(A) no Cenário 1. Estes valores estão acima do recomendado pela lei municipal, tornando difícil o controle de ruído apenas com uma medida.

Hospital IPO

A figura 65 mostra os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital IPO. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 1 onde houve uma diminuição de 50% dos veículos que trafegam nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há uma diminuição da ordem de 3 dB(A) na fachada voltada para a Av. República Argentina.

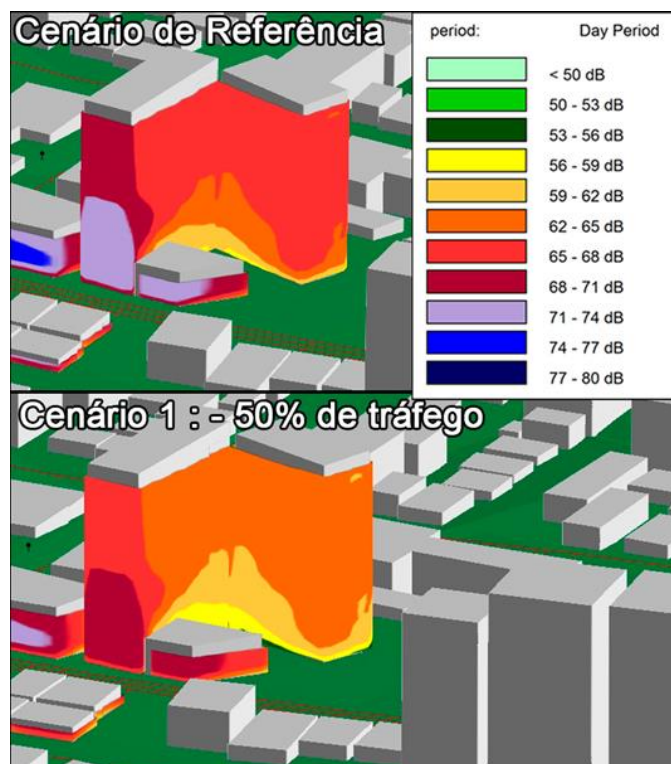


FIGURA 65 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL IPO. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 1.

FONTE: O Autor (2012)

Novamente, esta diminuição de 3 dB(A) não soluciona o problema da poluição sonora na região pelos seguintes motivos:

- 1) Os níveis que atingem as fachadas ainda permanecem muito acima do permitido pela legislação de Curitiba que é de 55 dB(A).
- 2) Considerando a diminuição dos níveis sonoros (3 dB(A)), a medida de redução de 50% do tráfego total de veículos não se apresenta de forma eficiente, tornando o custo-benefício inviável.

Os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital na figura anterior têm valores ainda mais elevados do que no caso do hospital do trabalhador. Isto torna difícil o controle de ruído apenas com uma medida, sendo necessário um conjunto de medidas para possivelmente atingir o objetivo que é o limite de 55 dB(A) imposto pela legislação.

Hospital Santa Cruz

A figura 66 mostra os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital Santa Cruz. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 1 onde houve uma diminuição de 50% dos veículos que trafegam nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há uma diminuição da ordem de 3 dB(A) na fachada.

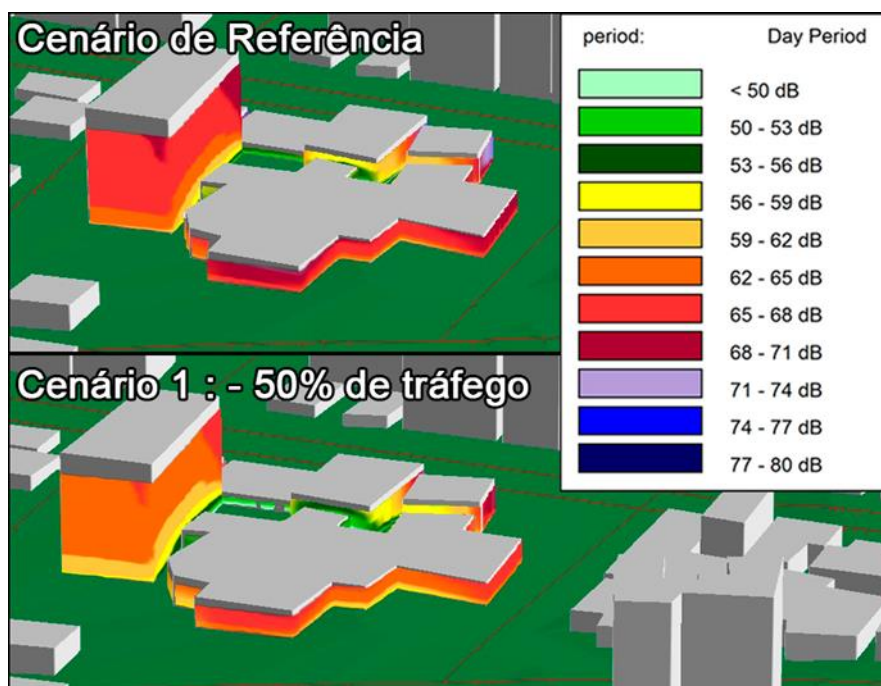


FIGURA 66 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL SANTA CRUZ. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 1.

FONTE: O Autor (2012)

Novamente, esta diminuição de 3 dB(A) não soluciona o problema da poluição sonora na região pelos seguintes motivos:

- 1) Os níveis que atingem as fachadas ainda permanecem muito acima do permitido pela legislação de Curitiba que é de 55 dB(A).
- 2) Considerando a diminuição dos níveis sonoros (3 dB(A)), a medida de redução de 50% do tráfego total de veículos não se apresenta de forma eficiente, tornando o custo-benefício inviável.

Os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital na figura anterior apresentam valores que tornam difícil o controle de ruído, sendo necessário um conjunto

de medidas para possivelmente alcançar o objetivo que é o limite de 55 dB(A) imposto pela legislação.

Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat

A figura 67 mostra os níveis sonoros que atingem as fachadas dos hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 1 onde houve uma diminuição de 50% dos veículos que trafegam nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há uma diminuição da ordem de 3 dB(A) na fachada.

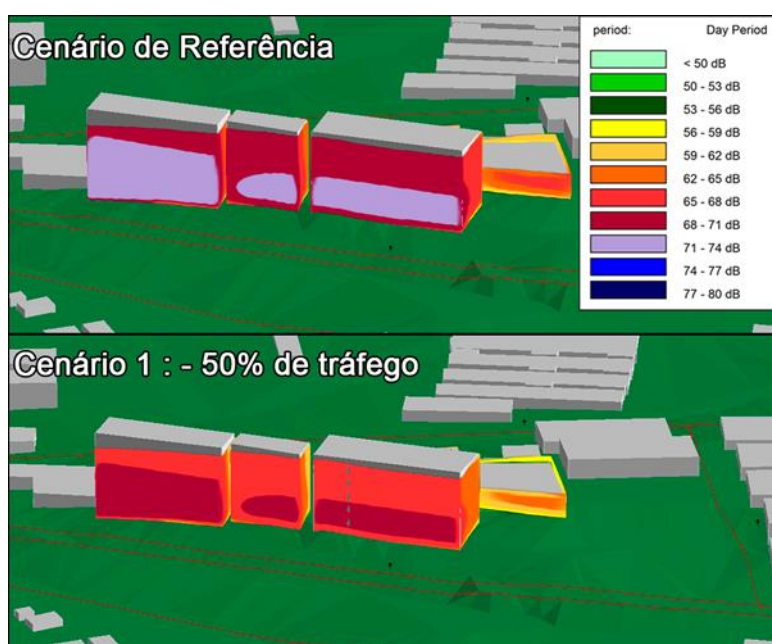


FIGURA 67 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DOS HOSPITAIS CAJURU E MARCELINO CHAMPAGNAT. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 1.

FONTE: O Autor (2012)

Novamente, esta diminuição de 3 dB(A) não soluciona o problema da poluição sonora na região pelos seguintes motivos:

- 1) Os níveis que atingem as fachadas ainda ficam muito acima do permitido pela legislação de Curitiba que é de 55 dB(A).
- 2) Considerando a diminuição dos níveis sonoros (3 dB(A)), a medida de redução de 50% do tráfego total de veículos não se apresenta de forma eficiente, tornando o custo-benefício inviável.

Os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital na figura anterior têm valores tornam difícil o controle de ruído, sendo necessário um conjunto de medidas para possivelmente atingir o objetivo que é o limite de 55 dB(A) imposto pela legislação.

Colégio Estadual Prof.^a Maria Aguiar Teixeira

A figura 68 mostra os níveis sonoros que atingem as fachadas do Colégio Estadual Prof.^a Maria Aguiar Teixeira. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 1 onde houve uma diminuição de 50% dos veículos que trafegam nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há uma diminuição da ordem de 3 dB(A) na fachada.

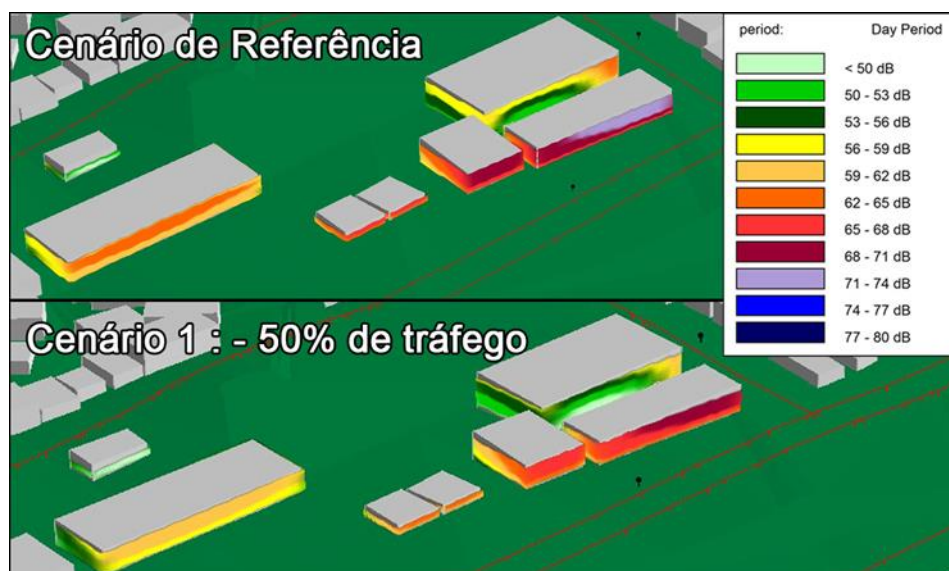


FIGURA 68 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NAS FACHADAS DO COLÉGIO ESTADUAL PROF. MARIA AGUIAR TEIXEIRA. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 1.

FONTE: O Autor (2012)

Os níveis sonoros que atingem as fachadas da escola na figura anterior revelam que a medida tomada no cenário não reduziu significativamente em relação ao cenário de referência. Os elevados valores, entre 62 e 71 dB(A), tornam difícil o controle de ruído, sendo necessário um conjunto de medidas para atingir o objetivo que é o limite de 55 dB(A) imposto pela legislação.

6.5.3 Cenário 2

No cenário 2 é adotada outra medida de redução na fonte. Esta medida consiste na substituição total de ônibus com motor a diesel por ônibus com motor elétrico. A vantagem que essa medida apresenta vai além do problema ruído. Se essa medida fosse adotada, o problema causado pela poluição do ar também diminuiria, além de que não seria utilizado nenhum combustível fóssil no abastecimento destes veículos, diminuindo também, a quantidade de gás carbônico lançada na atmosfera.

Com esta situação hipotética formulada, o próximo passo é simular no software Predictor, a situação com uma redução de 50% da quantidade de veículos pesados, uma vez que ainda existiriam caminhões circulando pelas ruas da cidade. Todos os outros parâmetros de entrada (velocidade média, tipo de pavimento, número de fontes, etc.) foram mantidos. Dessa maneira, são gerados mapas nas regiões sensíveis e comparados com os outros cenários para conhecer e quantificar a eficiência da medida proposta.

Hospital do trabalhador

A figura 69 mostra os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital do trabalhador. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 2 onde houve uma diminuição de 50% dos veículos pesados que trafegam nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há uma diminuição quase imperceptível na fachada voltada para a Av. República Argentina.

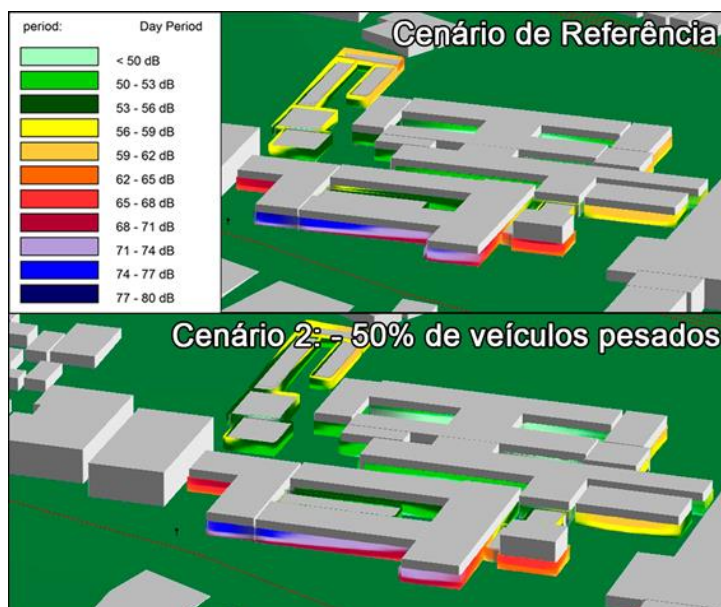


FIGURA 69 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL DO TRABALHADOR. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 2.
 FONTE: O Autor (2012)

A figura 70 mostra os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital do trabalhador com face voltada para a Rua Isaac Guelmann. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 2 onde houve uma diminuição de 50% dos veículos pesados que trafegam nas vias da região do hospital.

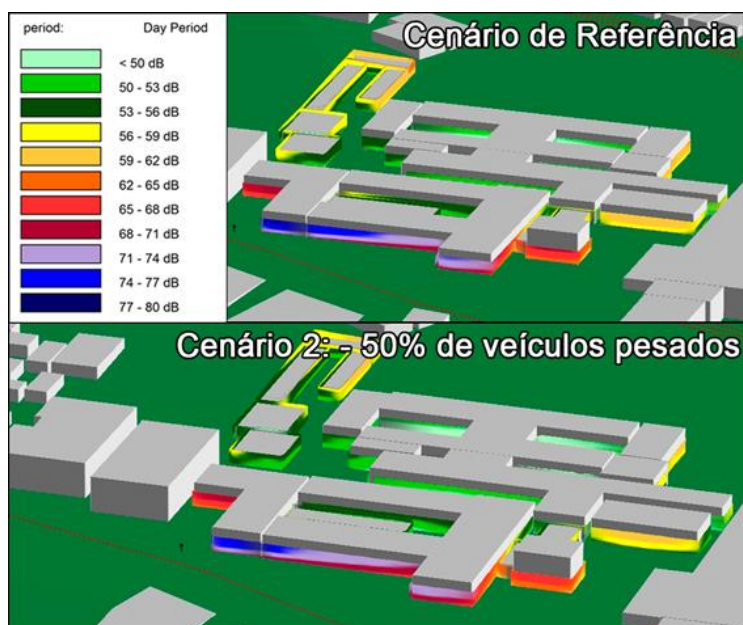


FIGURA 70 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL DO TRABALHADOR. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 2 NA FACHADA DA RUA ISAAC GUELMANN.

FONTE: O Autor (2012)

O resultado mostra que há uma diminuição menor do que 3 dB(A) na fachadas. Esta redução não soluciona o problema da poluição sonora na região pelos seguintes motivos:

1) Os níveis que atingem a fachada ainda permanecem acima do permitido pela legislação de Curitiba que é de 55 dB(A).

2) Considerando a pequena diminuição dos níveis sonoros (< 3 dB(A)), a medida de redução de 50% do tráfego de veículos pesados não se apresenta de forma eficiente, tornando o custo-benefício inviável.

Os elevados valores de nível de pressão sonora, entre 62 e 77 dB(A), tornam difícil o controle de ruído, sendo necessário um conjunto de medidas para possivelmente atingir o objetivo.

Hospital IPO

A figura 71 mostra os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital IPO. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 2 onde houve uma diminuição de 50% dos veículos pesados que trafegam nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há uma diminuição muito pequena na fachada voltada para a Av. República Argentina.

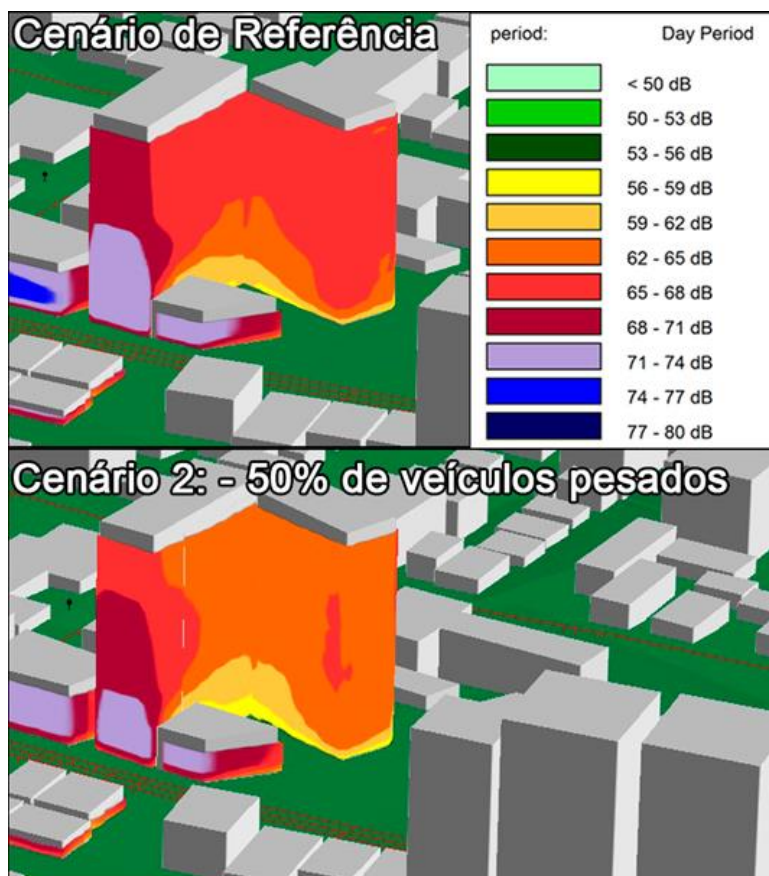


FIGURA 71 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL IPO. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 2.

FONTE: O Autor (2012)

O resultado mostra que há uma diminuição menor do que 3 dB(A) na fachadas. Esta redução não soluciona o problema da poluição sonora na região pelos seguintes motivos:

- 1) Os níveis que atingem a fachada ainda permanecem acima do permitido pela legislação de Curitiba que é de 55 dB(A).
- 2) Considerando a diminuição dos níveis sonoros (< 3 dB(A)), a medida de redução de 50% do tráfego de veículos pesados não se apresenta de forma eficiente, tornando o custo-benefício inviável.

A redução dos níveis sonoros no mapa é perceptível, mas ainda não é suficiente. Desta forma, um conjunto de medidas deve ser tomado para que a redução seja mais significativa.

Hospital Santa Cruz

A figura 72 mostra os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital Santa Cruz. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 2 onde houve uma diminuição de 50% dos veículos pesados que trafegam nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há uma diminuição muito pequena na fachada do hospital.

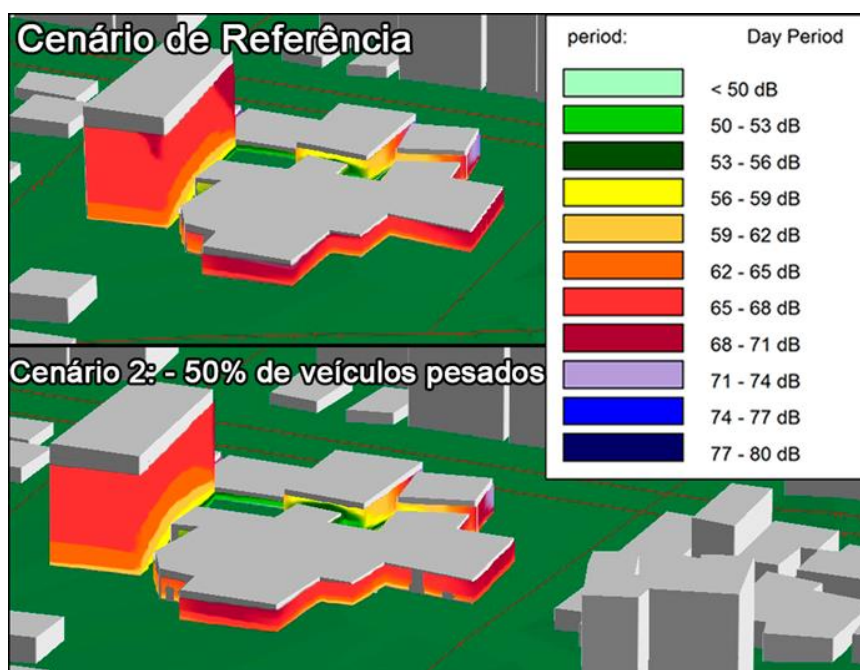


FIGURA 72 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL SANTA CRUZ. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 2.

FONTE: O Autor (2012)

O resultado mostra que há uma diminuição menor do que 3 dB(A) na fachadas. Esta redução não soluciona o problema da poluição sonora na região pelos seguintes motivos:

- 1) Os níveis que atingem a fachada ainda permanecem acima do permitido pela legislação de Curitiba que é de 55 dB(A).
- 2) Considerando a pequena diminuição dos níveis sonoros (< 3 dB(A)), a medida de redução de 50% do tráfego de veículos pesados não se apresenta de forma eficiente, tornando o custo-benefício inviável.

Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat

A figura 73 mostra os níveis sonoros que atingem as fachadas dos hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 1 onde houve uma diminuição de 50% dos veículos pesados que trafegam nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há uma diminuição menor do que 3 dB(A) nas fachadas.

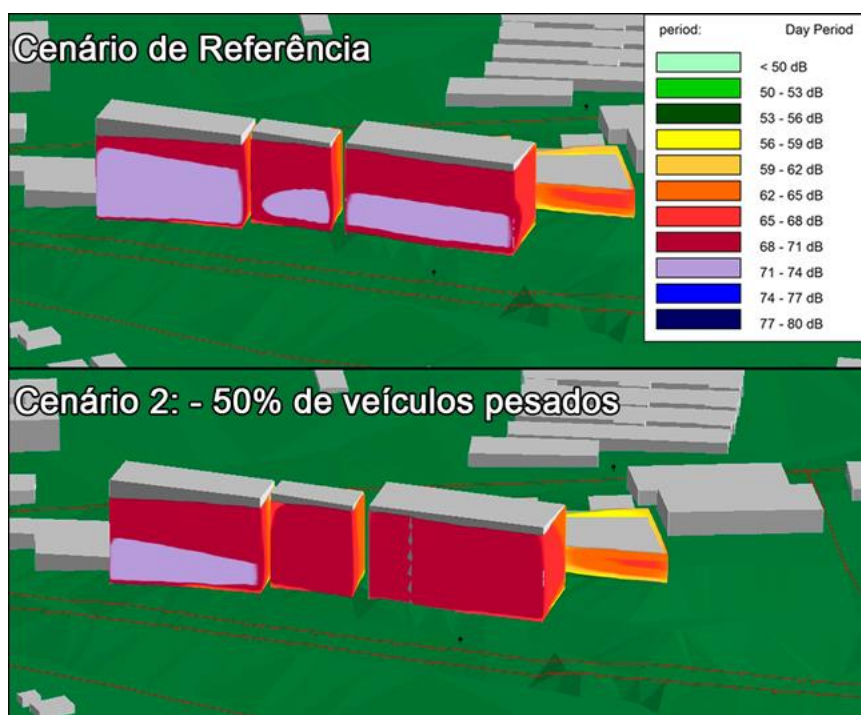


FIGURA 73 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DOS HOSPITAIS CAJURU E MARCELINO CHAMPAGNAT. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 2.

FONTE: O Autor (2012)

Novamente, esta diminuição próxima a 3 dB(A) não soluciona o problema da poluição sonora na região pelos seguintes motivos:

- 1) Os níveis que atingem as fachadas ainda permanecem muito acima do permitido pela legislação de Curitiba que é de 55 dB(A).
- 2) Considerando a diminuição dos níveis sonoros (3 dB(A)), a medida de redução de 50% do tráfego total de veículos não se apresenta de forma eficiente, tornando o custo-benefício inviável.

Colégio Estadual Prof.^a Maria Aguiar Teixeira

A figura 74 mostra os níveis sonoros que atingem as fachadas do Colégio Estadual Prof. Maria Aguiar Teixeira. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 2 onde houve uma diminuição de 50% dos veículos pesados que trafegam nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há uma diminuição menor do que 3 dB(A) na fachada.

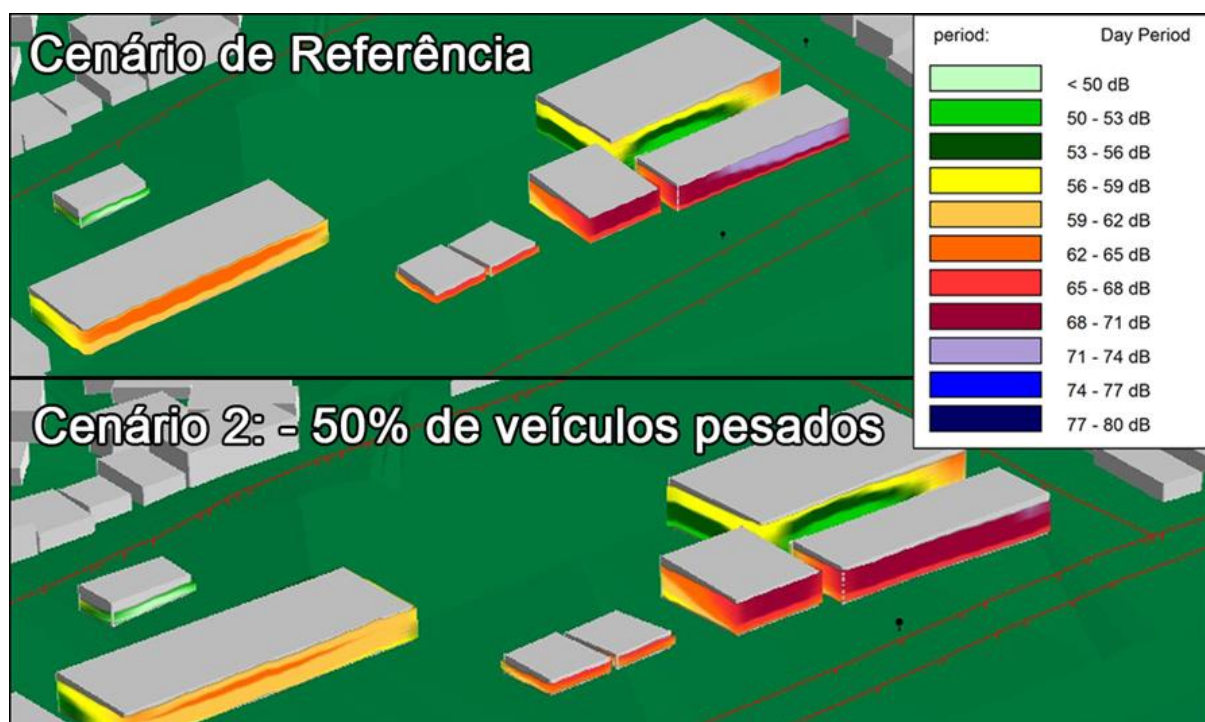


FIGURA 74 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NAS FACHADAS DO COLÉGIO ESTADUAL PROF. MARIA AGUIAR TEIXEIRA. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 2.

FONTE: O Autor (2012)

Os níveis sonoros que atingem as fachadas da escola na figura anterior revelam que a medida tomada no cenário não reduz significativamente em relação ao cenário de referência. Os elevados valores, entre 62 e 71 dB(A), tornam difícil o controle de ruído, sendo necessário um conjunto de medidas para possivelmente atingir o objetivo que é o limite de 55 dB(A) imposto pela legislação.

6.5.4 Cenário 3

No cenário 3 não é adotada nenhuma medida. Consiste em uma simulação onde nenhum plano de controle de ruídos é adotado, porém, o número de veículos aumenta a cada ano.

Desta forma, a situação hipotética seria da seguinte maneira: a economia do país permanece estável e as vendas de automóveis continuam crescendo, em média, 5,6% ao ano, seguindo os dados da divisão de estatísticas do DETRAN-PR. Assim, o número de veículos ao fim de dez anos seria 56% maior do que o atual, levando em conta que o crescimento seria linear. No software Predictor, os dados de entrada da quantidade de veículos em todas as categorias sofrem um aumento de 56%. Todos os outros parâmetros de entrada (velocidade média, tipo de pavimento, número de fontes, etc.) são mantidos. Dessa maneira, são gerados mapas nas regiões sensíveis e comparados com o cenário de referência para saber e quantificar a situação proposta.

Hospital do trabalhador

A figura 75 mostra os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital do trabalhador. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 3 onde houve um aumento de 56% na quantidade de veículos que trafega nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há um aumento notável na fachada voltada para a Av. República Argentina.

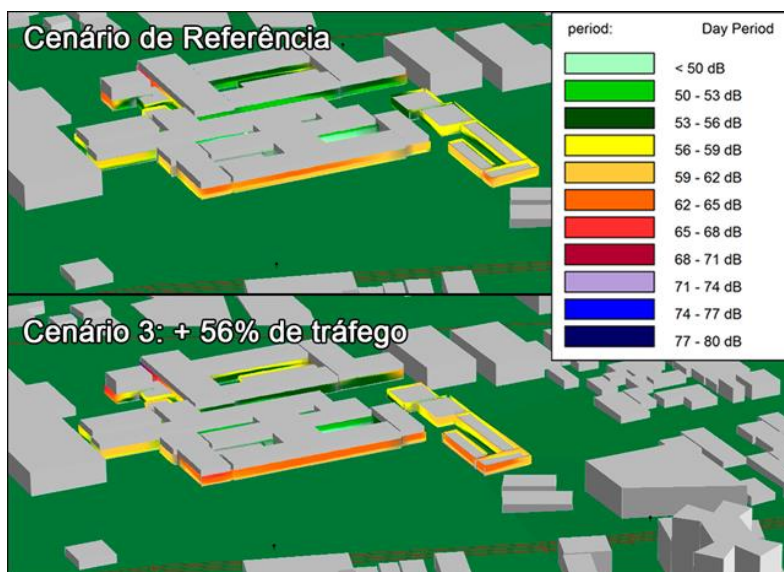


FIGURA 75 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL DO TRABALHADOR. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 3.
 FONTE: O Autor (2012)

A figura 76 mostra os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital do trabalhador com face voltada para a Rua Isaac Guelmann. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 3 onde houve um aumento de 56% dos veículos que trafegam nas vias da região do hospital.

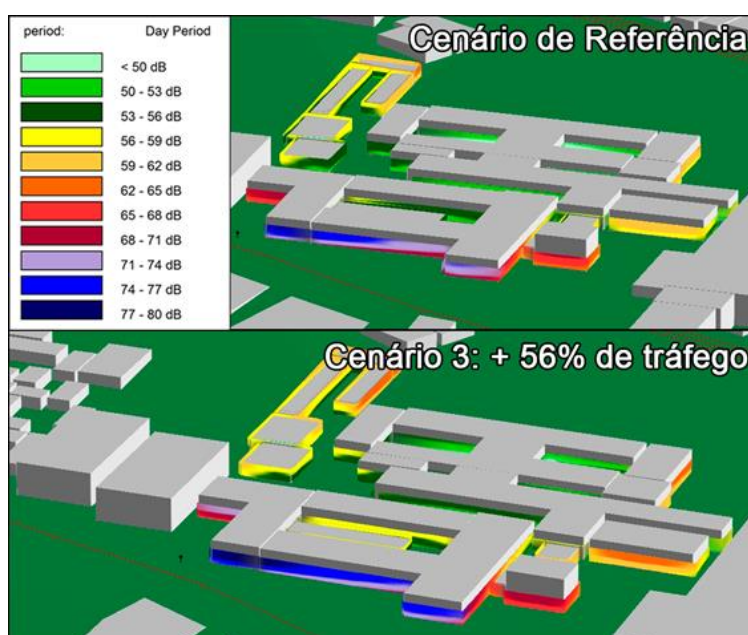


FIGURA 76 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL DO TRABALHADOR. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 3 NA FACHADA DA RUA ISAAC GUELMANN.
 FONTE: O Autor (2012)

O resultado mostra que há um aumento da ordem de 3 dB(A) nas fachadas. Este aumento agrava ainda mais a poluição sonora na região dificultando muito o controle do ruído, tornando o objetivo (55 dB(A) imposto pela legislação) quase inatingível.

Hospital IPO

A figura 77 mostra os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital IPO. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 3 onde houve um aumento de 56% na quantidade de veículos que trafega nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há um aumento notável na fachada voltada para a Av. República Argentina.

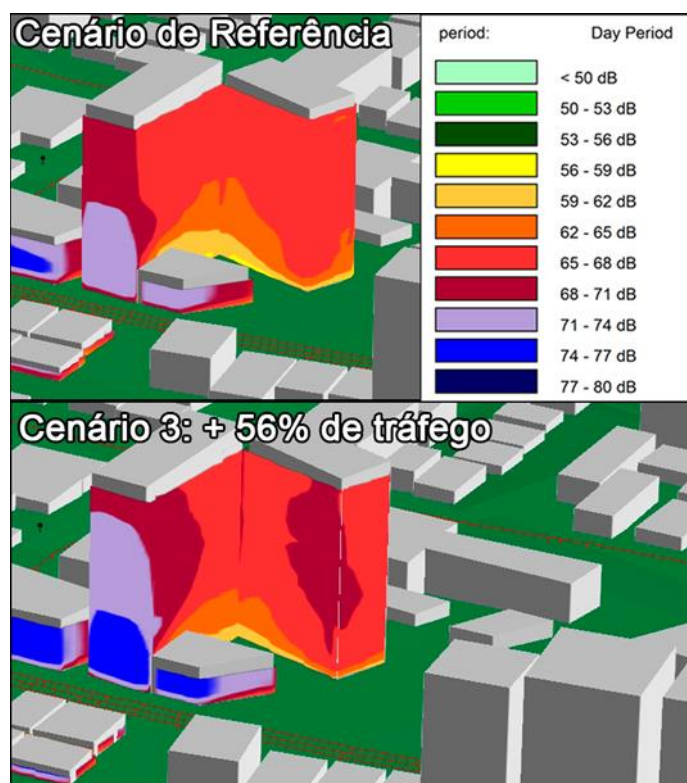


FIGURA 77 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL IPO. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 3.

FONTE: O Autor (2012)

O resultado mostra que há um aumento da ordem de 3 dB(A) nas fachadas. Este aumento agrava ainda mais a poluição sonora na região dificultando muito o controle do ruído, tornando o objetivo (55 dB(A) imposto pela legislação) quase inatingível, uma vez que em alguns locais os níveis estão mais de 20 dB(A) acima do permitido.

Hospital Santa Cruz

A figura 78 mostra os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital Santa Cruz. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 3 onde houve um aumento de 56% na quantidade de veículos que trafega nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há um aumento notável nas fachadas.

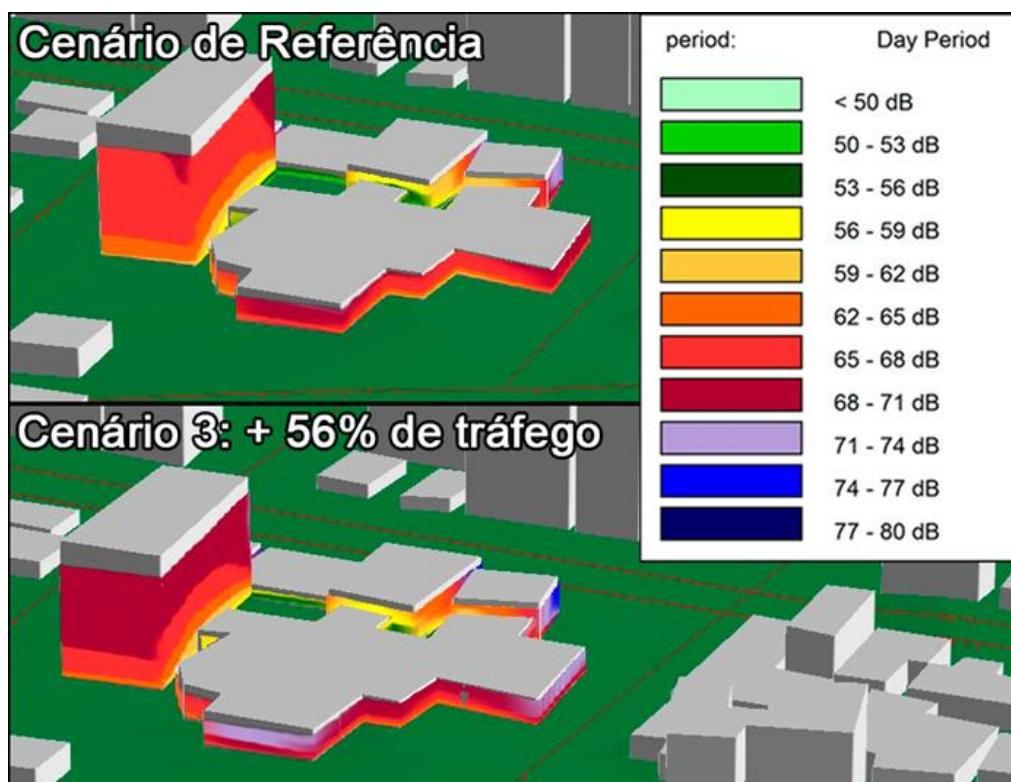


FIGURA 78 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DO HOSPITAL SANTA CRUZ. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 3.

FONTE: O Autor (2012)

O resultado mostra que há um aumento da ordem de 3 dB(A) nas fachadas. Este aumento agrava ainda mais a poluição sonora na região dificultando muito o controle do ruído, tornando o objetivo (55 dB(A) imposto pela legislação) quase inatingível.

Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat

A figura 79 mostra os níveis sonoros que atingem as fachadas dos Hospitais Cajuru e Marcelino Champagnat. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 3 onde houve um aumento de 56% na quantidade de veículos que trafega nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há um aumento notável nas fachadas.

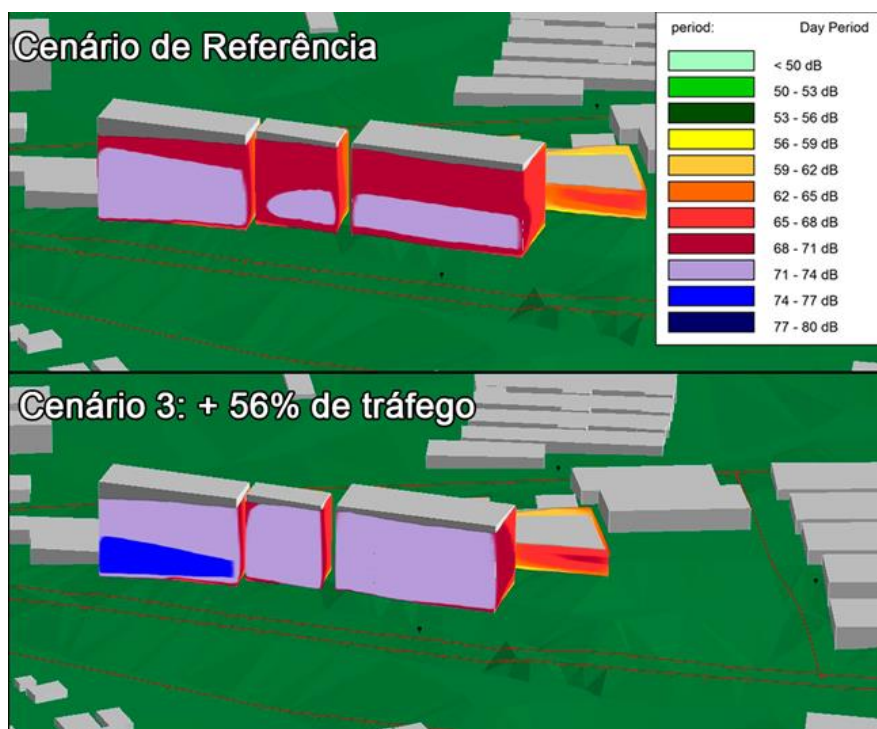


FIGURA 79 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NA FACHADA DOS HOSPITAIS CAJURU E MARCELINO CHAMPAGNAT. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 3.

FONTE: O Autor (2012)

O resultado mostra que há um aumento da ordem de 3 dB(A) nas fachadas. Este aumento agrava ainda mais a poluição sonora na região dificultando muito o controle do ruído, tornando o objetivo (55 dB(A) imposto pela legislação) quase inatingível, uma vez que em alguns locais os níveis estão mais de 20 dB(A) acima do permitido.

Colégio Estadual Prof.^a Maria Aguiar Teixeira

A figura 80 mostra os níveis sonoros que atingem as fachadas do Colégio Estadual Prof. Maria Aguiar Teixeira. A figura indica uma comparação entre o cenário atual e o cenário 3 onde houve um aumento de 56% na quantidade de veículos que trafega nas vias da região do hospital. O resultado mostra que há um aumento notável nas fachadas.

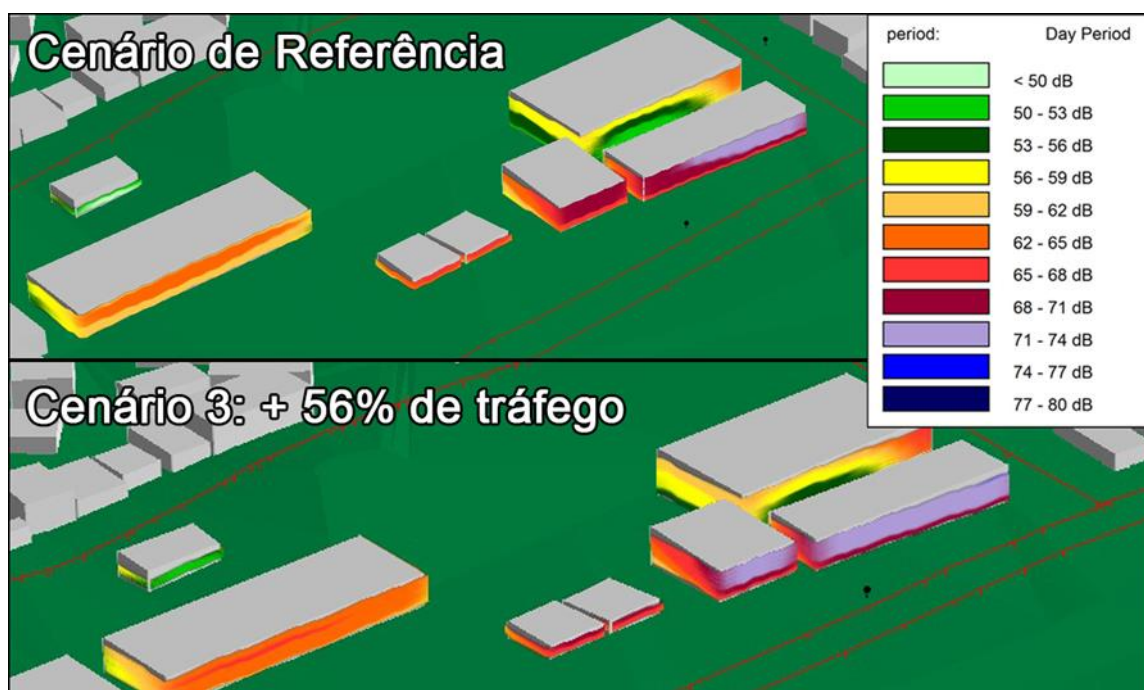


FIGURA 80 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS NAS FACHADAS DO COLÉGIO ESTADUAL PROF. MARIA AGUIAR TEIXEIRA. MOSTRA AS DIFERENÇAS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O CENÁRIO 3.

FONTE: O Autor (2012)

O resultado mostra que há um aumento da ordem de 3 dB(A) nas fachadas. Este aumento agrava ainda mais a poluição sonora na região dificultando muito o controle do ruído, tornando o objetivo (55 dB(A) imposto pela legislação) quase inatingível.

6.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS CENÁRIOS

A intenção da montagem de diferentes cenários surgiu em virtude da preocupação com as regiões onde as medidas de planejamento e de redução do ruído devem ser executadas prioritariamente, ou seja, as regiões sensíveis ao ruído.

As medidas adotadas nos cenários 1 e 2 foram escolhidas porque podem ser tomadas pelo poder público e porque são possíveis de simular com o software Predictor. O cenário 3 foi utilizado como uma forma de previsão do futuro em relação a poluição sonora se nenhuma atitude for tomada. Isso mostra como o software pode se tornar um aliado nas decisões de planejamento urbano na cidade.

Os resultados obtidos revelaram que as medidas adotadas nos cenários 1 e 2 ficaram aquém do esperado por não se aproximarem ao valor preconizado (55 dB(A)) pela lei nº 10625/ 2002 de Curitiba. Desta maneira, fica evidenciado que apenas uma medida de controle tomada não é suficiente para combater este problema. Possivelmente um conjunto com várias medidas possa alcançar o objetivo que é 55 dB(A) nas fachadas das áreas sensíveis da cidade de Curitiba.

6.6.1 Redução do Impacto Ambiental causado pelo ruído

Existem outras maneiras para reduzir o ruído causado pelo tráfego de veículos. As medidas adicionais que podem ser tomadas subdividem-se em três categorias: redução na fonte, redução no meio de propagação e redução no receptor.

Redução na fonte

Consiste em ações que agem diretamente na produção de ruído, já descritos na seção 3.5.2. Determinação da natureza e escala de impactos e que podem ser adotadas pelo poder público:

- 1) Fatores veiculares: novos veículos devem apresentar certificação de baixos valores de emissão de potência sonora, principalmente de veículos públicos.
- 2) Tipos de pavimentos: utilização de pavimentação asfáltica com baixa emissão sonora.

3) Geometria da via: para novas vias é possível que seja construída em um corte abaixo do nível do solo ou sobre uma plataforma elevada pode servir para manter os receptores fora da zona de impacto.

4) Fluxo de tráfego: incentivo aos transportes alternativos como bicicletas, percursos a pé, larga utilização de transporte público (ônibus e metrô) diminuindo assim o número de veículos em circulação.

Redução no meio de propagação

Consiste em ações que limitam que o ruído chegue até o receptor. Esta medida é bastante conhecida pelo uso de barreiras acústicas.

Barreiras acústicas podem ser boas aliadas na redução de ruído, contudo devem-se conhecer e estudar detalhadamente os materiais que a compõem, o design, o posicionamento e a altura para que seja realmente efetiva. Além de tudo, pode apresentar alguns impactos negativos em aspectos não acústicos como a poluição visual e o posicionamento, pois não deve se situar em locais onde há travessia de pedestres.

Redução no receptor

Consiste na proteção do receptor quando as medidas tomadas na fonte e/ou no meio de propagação não são suficientes para diminuir o ruído. Para ruídos ambientes que excedam os valores estabelecidos pela ABNT NBR 10151, devem ser especificados níveis de desempenho a fim de que sejam atendidos os níveis de conforto. Para saber o isolamento acústico de uma determinada edificação, medições do isolamento acústico podem ser realizadas em campo ou em laboratório. O procedimento destas medições está descrito na ABNT NBR 15575-5 2010 (Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas).

As chamadas portas e janelas anti-ruído são as mais utilizadas para resolver este problema, apesar do custo mais elevado do que as portas e janelas comuns. A figura a seguir é uma foto que mostra que esta medida vem sendo utilizada nas novas construções em locais ruidosos.

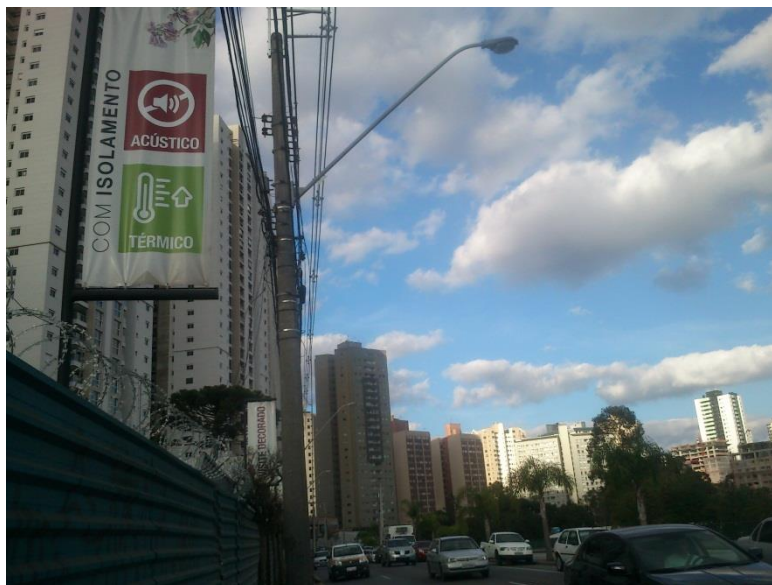


FIGURA 81 – A FOTO MOSTRA UMA NOVA CONSTRUÇÃO NO BAIRRO CRISTO REI EM FRENTE A AV. PRES. AFFONSO CAMARGO.

Ainda existem outras ações que podem ser utilizadas pelo poder público para combater o problema ruído na cidade de Curitiba, como:

1) A reformulação do zoneamento urbano quanto ao uso do solo, levando em conta também a situação acústica das principais vias movimentadas e seus impactos que produzem nas áreas sensíveis;

2) A fiscalização e o controle da frota de veículos. Automóveis e motocicletas muito velhos ou modificados (sem escapamento) contribuem para o aumento dos níveis sonoros;

3) A utilização de várias destas medidas combinadas pode combater o problema ruído na cidade de Curitiba. E a partir disso produzir cenários diferentes (e melhores) do ponto de vista acústico.

6.6.2 Considerações sobre os mapas de ruído

Os mapas de ruído gerados neste estudo colocam a dispor das autoridades competentes (técnicos responsáveis por planejamento urbano) um modo diferente, e com mais qualidade, de abordar o problema causado pela poluição sonora ambiental na cidade de Curitiba. Mapas de ruído em 2 D ou em 3D fornecem uma visão ampla do problema ruído que somente as medições sonoras não fornecem, desta forma, o mapa de

ruído pode ser considerado como uma ferramenta de gestão de planejamento urbano para que um plano de redução de ruído seja preparado e não apenas como um fim em si.

Vale ressaltar que atualizações em mapas de ruído são constantemente necessárias para que se possa acompanhar a evolução da situação acústica de um determinado local e tomar as medidas cabíveis para controlar o problema.

A utilização dos mapas visa avaliar/analisar através de diferentes cenários para influenciar programas de desenvolvimento e planos municipais.

No Brasil, a utilização de mapas acústicos como ferramenta de gestão de planejamento ainda está no início, mas já há parcerias entre prefeituras e universidades no desenvolvimento de novos projetos em cidades como Curitiba e Fortaleza (LAAICA, 2009; LAAICA 2012). E isso se mostra como um passo importante para que as decisões de política pública em relação ao ruído sejam adotadas baseadas em estudos técnicos podendo trazer ganhos significativos na melhoria do ambiente sonoro e nas condições de vida das populações

7 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados em cada um dos quatro trechos analisados sugerem que a situação acústica destes trechos caracteriza a existência de poluição sonora. No ponto de vista ambiental, o impacto tem natureza negativa, pois pode causar efeitos prejudiciais a saúde da população.

Considerando apenas as medições, dos 227 pontos medidos ao longo dos trechos, apenas 31 apresentaram valores menores do que os limites estabelecidos pela Lei Municipal de Curitiba nº 10.625/2002 que regula os níveis sonoros da cidade. E isto confirma uma situação bastante comum atualmente em grandes cidades.

Grande parte dos níveis sonoros medidos, mais precisamente 112 pontos, apresentaram valor acima de 70 dB(A), que segundo a Organização Mundial de Saúde (W.H. O , 1999) podem causar danos a audição. Neste estudo, 171 pontos apresentaram valor superior a 65 dB(A). Maschke (1999) considera que 65 dB(A) é o limiar de comprometimento da saúde. Isto demonstra a gravidade da situação acústica nos ambientes avaliados neste estudo.

Este trabalho também serve de alerta sobre os elevados níveis de ruído que atingem as fachadas de cinco hospitais e uma escola de Curitiba. Os níveis que atingem até 77 dB(A) podem ocasionar problemas para as pessoas que estão expostas a estes altos níveis, tanto para o conforto daqueles que estão enfermos nos hospitais, quanto para aqueles que precisam de concentração nas escolas.

A metodologia utilizada neste trabalho – utilizou medições in situ e predição sonora – se revelou como uma alternativa satisfatória. As medições são importantes e insubstituíveis porque fornecem dados quantitativos indispensáveis para avaliações de acústica. Por outro lado, requerem pessoal treinado, vários equipamentos e condições atmosféricas adequadas – sem chuvas e ou ventos fortes. Alternativamente, tem-se na simulação sonora a geração de mapas acústicos que fornecem uma visão global do problema de poluição sonora e uma análise da situação presente e futura dos níveis sonoros. As duas técnicas se complementam exemplarmente. Sendo útil para o planejamento e uso do solo, e discussão de legislação pertinente ao controle de emissões (fontes sonoras) e imissões sonoras (níveis sonoros recebidos pela população).

Os cenários apresentados revelaram que as medidas adotadas não foram suficientes para reduzir os níveis sonoros, considerando que as reduções de tráfego foram elevadas (50%), os resultados apontaram que a redução de até 3 dB(A) atingidos nas simulações não foram eficientes para atingir os 55 dB(A) estabelecidos pela lei nº 10625/2002 de Curitiba.

Conclui-se que: o sistema de transporte urbano de Curitiba está saturado, há tantos veículos em circulação (1 milhão e 300 mil veículos segundo a divisão de estatísticas do DETRAN-PR (2012)) que mesmo uma redução significativa da quantidade de veículos (50%) não é suficiente para reduzir os níveis sonoros. Segundo Hassal & Zaveri (1979) uma diminuição de 3 dB(A) produz uma sensação classificada como “meramente perceptível”. Para que a sensação seja considerada “claramente perceptível”, é necessária uma diferença de 5 dB(A) em cada cenário.

Desta maneira, fica evidenciado que apenas uma medida de controle tomada não é suficiente para combater este problema. É necessário um plano com várias medidas conjuntas com ações tanto na fonte, como no caminho e até no próprio receptor para que atuem sinergicamente e diminuam o problema ruído.

As políticas públicas adotadas atualmente estão caminhando na direção contrária à diminuição do fluxo de veículos. Incentivos fiscais, e condições facilitadas de financiamento, levam ao consumo maior de automóvel e consequente aumento da frota de veículos. O cenário 3 que simula a situação acústica dos pontos sensíveis nos próximos a dez anos, indica um agravamento significativo no panorama acústico causado justamente pelo aumento de veículos em circulação. Um artigo do jornal Gazeta do Povo publicado em fevereiro de 2013 (ANTONELLI, 2013), indica que houve um grande aumento da frota automotiva no estado do Paraná, e também discute quais os desafios a serem enfrentados nos próximos anos em decorrência deste crescimento. Isto reforça a importância deste trabalho como ferramenta de gestão de planejamento urbano, uma vez que o crescimento da frota automotiva ocasionará necessárias medidas de combate ao ruído para que a qualidade de vida das populações não se agrave ainda mais.

7.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomendações para trabalhos futuros são:

Uma avaliação noturna das regiões analisadas, principalmente a descrita no trecho 3 onde está localizada a Avenida do Batel, conhecida por ser bastante movimentada na cidade por conta da vasta opção de bares e restaurantes que figuram nesta avenida e na sua continuação.

Uma avaliação com enfoque na quantificação das incertezas presentes nos processos de medição e de simulação computacional, fornecendo uma melhoria ao presente método empregado.

Um trabalho que avalie os tempos de medição em campo. As medições de curta duração podem acelerar a coleta de dados com o risco de não gerar informações suficientes, porém medições longas são muito cansativas e a disponibilidade de tempo, pessoas, e equipamentos limitam uma empreitada como esta, correndo o risco de, inclusive, gerar resultados iguais obtidos em intervalos menores. Um análise estatística que comprove um tempo de medição ideal, poderia otimizar a avaliação de campo.

Uma análise da poluição sonora ambiental através de mapas acústicos utilizando outros modelos de predição acústica, dentre os modelos rodoviários mais populares estão: o Richtlinien für den Lärmchutz an Straßen (RLS-90) da Alemanha, o método francês NMPB-2008, o Calculation of Road Traffic Noise (CRTN) utilizado no Reino Unido, o Federal Highway Administration (FHWA) dos Estados Unidos dentre outros.

8 REFERÊNCIAS

ALI, S.A., TAMURA, A. **Road traffic noise mitigation strategies in Greater Cairo, Egypt.** Applied Acoustics 63 (2002) 1257–1265

ANNECKE, R. AND ZIMMERMAN, U. (2008) **'Examples of using traffic management measures on noise in cities - Munich'** in Ellebjerg, L. (ed) (2008)

ANTONELLI, D. **Em um ano, PR ganha 400 mil veículos** - VIDA E CIDADANIA – GAZETA DO POVO, CURITIBA, 02 de fevereiro de 2013. Disponível em: <http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/conteudo.phtml?id=1341435&tit=Em-um-ano-PR-ganha-400-mil-veiculos> . Acesso em 03 de fevereiro de 2013.

ARANA, M.; GARCIA, A. **A social survey on the effects of environmental noise on the residents of Pamplona, Spain.** Applied Acoustics. Vol. 53, No. 4, pp. 245-253, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.151: Acústica - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, Visando o Conforto da Comunidade – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2000.

BABISCH W, BEULE B, SCHUST M, KERSTEN N, ISING H. **Traffic noise and risk of myocardial infarction.** Epidemiology. Jan;16 (2005) (1):33-40.

BABISCH W. **The noise/stress concept, risk assessment and research needs.** Noise Health 2002;4:1-11

BELOJECIC, G.; JAKOVLJECIC, B.; ALEKSIC, O. **Subjective reactions to traffic noise with regard to some personality traits.** Environment International, Vol.23 pp. 221-226, 1997.

BENDTSEN, H., HABERL, J., SANDBERG, U., WATTS, G., PUCHER, E. (2005) **Traffic Management and Noise Reducing Pavements - Recommendations on Additional Noise Reducing Measures SILVIA (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control)** Project Report, Roskilde, Denmark: Danish Road Institute/Road Directorate

BERANEK, L. L. **Noise Reduction**. 1 ed. New York: McGraw-Hill, 758 p., 1960.

BERANEK, L. L.; VÉR, I. L. **Noise and Vibration Control Engineering – Principles and Applications**. 4 ed. New York: Wiley Interscience Publication, 823 p., 1992.

BIES, D. A.; HANSEN, C. H. **Engineering Noise Control: Theory and Practice**. 2 ed. New York: Spon Press – Taylor & Francis Group, 736 p., 2002.

BRUEL & KJAER. **Environmental Noise Booklet**. Bruel & Kjaer Sound and Vibration A/S, 2000.

BRUEL & KJAER. **Predictor –Lima v.8.1 user guide**. Bruel & Kjaer Sound and Vibration A/S, 2010.

BURGESS M. **Noise prediction for urban traffic conditions--related to measurements in the Sydney metropolitan area**. Applied Acoustics (10) (1977) Applied Science Publishers Ltd, England, 1977.

CALIXTO, A. **O Ruído gerado pelo Tráfego de Veículos em “Rodovias-Grandes Avenidas”, situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisados sobre parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental**, Curitiba. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná, 125 p.

CHO,D.S; KIM,J.H ; CHOI,T.M; B KIM,B.H; MANVELL D. **Highway traffic noise prediction using method fully compliant with ISO 9613: comparison with measurements**, Applied Acoustics, Volume 65, Issue 9, September 2004, Pages 883-892

CHO,D.S; MUN,S. **Development of a highway traffic noise prediction model that considers various road surface types**, Applied Acoustics, Volume 69, Issue 11, November 2008, Pages 1120-1128,

DAVID A. BIES AND COLIN H.HANSEN **Engineering noise control: theory and practice** /.—4th ed.2009, 768p.

DE DONATO, S.R, MORRI, B. **A statistical model for predicting road traffic noise based on Poisson type traffic flow** Noise Control Engineering Journal [Noise Control Eng. J.]. Vol. 49, no. 3, pp. 137-143. May-Jun 2001.

DEPARTMENT FOR TRANSPORT (1996) **Traffic Calming: traffic and vehicle noise**, Traffic Advisory Leaflet 6/96

DOYGUN H., GURUN D.K., **Analysing and mapping spatial and temporal dynamics of urban traffic noise pollution: a case study in Kahramanmaraş, Turkey**. Environmental Monitoring and Assessment. Volume 142, Numbers 1-3 (2008), 65-72,

EILEEN D. **Noise and Hearing Loss: A Review**. Journal of School Health d May 2007, Vol. 77, No. 5.

ELLEBJERG, L. (2007) **Effectiveness and Benefits of Traffic Flow Measures on Noise Control** WP H.1 Methods for Noise Control by Traffic Management SILENCE, SILENCE_H.D1_20070105

ENGEL, M. S. **Caracterização da poluição sonora, através de medições e mapeamento sonoros e entrevistas de percepção sonora na Linha Verde em**

Curitiba – Paraná. 195 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, 2012.

EUROPEAN COMMISSION WORKING GROUP ASSESSMENT OF EXPOSURE TO NOISE (WG-AEN): **“Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure ”**– version 2, page 1-129, 13th January 2006.

European Union. Directive 2002/49/EC **relating to the Assessment and Management of Environmental Noise**. Official Journal of the European Communities; 2002. No. L 189.

FIEDLER P. E. K., BUNN F., ZANNIN P.H.T. **Pre-environmental study for the implementation of a new road system - a case study in Curitiba, Brazil**. DAGA 2012 – Darmstadt.

FILHO, J. J. S. **Avaliação do ruído urbano na cidade de Campo Grande - MS**. 134 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais), Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2012.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. 2 ed. Florianópolis: NR Editora, 676 p., 2000.

GOLMOHAMMADI, R., ABBASPOUR, M., NASSIRI, P., MAHJUB H. **A compact model for predicting road traffic noise**. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., 2009, Vol. 6, No. 3, pp. 181-186

GUEDES M.; LEITE M. J., **Directrizes para Elaboração de Mapas de Ruído**. Instituto do Ambiente PT, 2007.

GUEDES, I. C. M. ; BERTOLI, S. R. ; ZANNIN, P. H.T. **Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju Brazil**. Science of the Total Environment, v. 412, p. 66-76, 2011.

HANSEN C. **Noise control – from concept to application**. Taylor & Francis, New York, NY. pp 2.10. First edition, 2005.

HARRIS, C. M. **Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1646 p., 1998.

HASSALL, J. R.; ZAVERI, K.; **Acoustic Noise Measurement**. 4 ed. Dinamarca: Brüel & Kjaer Magazine, 280 p., 1979.

HOBAN C., TSUNOKAWA K. **Roads and the environment : a handbook /edited by Christopher Hoban and Koji Tsunokawa..** (World Bank technical paper ; no. 376) (1997)

HUNT, F. V. **Origins in Acoustics**. 2 ed. New York: Acoustical Society of America, 212 p., 1992.

INAV/GEOSISTEMAS SRL; Maplink/Tele atlas. Zona 22J. in Google Earth for Windows, versão 5.2. Acesso em 15 de setembro de 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise: ISO 1996-1. Basic quantities and assessment procedures: Part 1, Suíça, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Acoustics - Description and measurement of environmental noise: ISO 1996-2. Acquisition of data pertinent to land use: Part 2, Suíça, 1998.

JONG-SAN TSAY, JEN-JON LO AND YI-SHENG LIN. **The Study of Mathematical Model For Predicting Road Traffic Noise.** Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 6, No. 2, pp. 111-120 (2003)

K. IZUMI, T. YANO .**Community response to road traffic noise: social surveys in three cities in Hokkaido.** Journal of Sound and Vibration (1991) 151(3), 505-512

KINSLER, L. E.; FREY, A. R.; COPPENS, A. B.; SNADERS, J. V. **Fundamentals of Acoustics.** 3 ed. New York: Wiley Interscience Publication, 560 p., 1982.

KO J. H., CHANG I. S., LEE P B. **Noise impact assessment by utilizing noise map and GIS: A case study in the city of Chungju, Republic of Korea.** Applied Acoustics 72 (2011) 544–550

LABORATÓRIO DE ACÚSTICA AMBIENTAL INDUSTRIAL E CONFORTO ACÚSTICO – LAAICA. **10º Relatório Progressivo de atividades – Programa de Monitoramento Sonoro do Projeto Linha Verde.** Curitiba, Maio de 2009.

LABORATÓRIO DE ACÚSTICA AMBIENTAL INDUSTRIAL E CONFORTO ACÚSTICO – LAAICA. **Décimo relatório de imissões sonoras. projeto bid-for. Fortaleza –CE,** Abril de 2012.

LACERDA, A.B.M.; MAGNI, C.; MORATA, T.C.; MARQUES, J. ZANNIN, P.T. **Reações psicossociais ao ruído urbano.** Revista Ambiente e Sociedade, v. 8, n.2, dezembro de 2005.

LAM, W.H.K.; TAM, M.L. **Relianility analysis of traffic noise estimates in Hong Kong.**Transpn. Res.-D, Vol.3, No4, pp. 239-248, 1998.

LAWRENCE A. and BURGESS M. **Measurement of traffic noise shielding provided by buildings.** Applied Acoustics, 13 (1980) 211-225

LAZZARINI, V.E.P. **Elementos de acústica. Apostila (Acústica e Vibrações).** Music Department, National University of Ireland, Maynooth, 1998.

LEE, S.W.; CHANG, S.I; PARK, Y.M. **Utilizing noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul, Korea**, Applied Acoustics, Volume 69, Issue 8, August 2008, Pages 704-714,

MANVELL D., BANDA E.H. **Good practice in the use of noise mapping software.** Applied Acoustics 72 (2011) 527–533

MARDONES, M.D. **Mapeamento dos Níveis de Ruído em Copacabana, Rio de Janeiro, Através de Simulação Computacional.** Dissertação (mestrado) - UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Mecânica, 2009.

MARTIN M.A., TARRERO A., GONZALEZ J. B, M. MACHIMBARRENA. **Exposure–effect relationships between road traffic noise annoyance and noise cost in Valladolid, Spain.** Applied Acoustics 67 (2006) 945–958.

MASCHKE, C. **Preventive Medical Limits for Chronic Traffic Noise Exposure.** Acustica; 85:444-448. 1999

MEIARASHI, S. M. ISHIDA. **“Noise Reduction Characteristics of Porous Elastic Road Surface”.** 1996. Applied Acoustics, 47:3:239-250.

MIODUSZEWSKI, P., EJSMONT J. A., GRABOWSKI J., KARPIŃSKI D., **Noise map validation by continuous noise monitoring**, Applied Acoustics, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 582-589

MORAES, E; LARA, L.; TOGUCHI, L.; PINTO, A. , 2003. **Mapa de ruídos da Zona Comercial de Belém, uma parcela do mapa de ruídos da cidade de Belém, Brasil.** TecniAcustica, Bilbao 2003. <http://www.seaacustica.es/Bilbao03/aam022.pdf>

MORILLAS, J.M.B.; GÓMEZ, R.V.G.; ESCOBAR, V.G.; SIERRA, J.A.M.; VIDAL, C.T.; BUENO, L. A.; MARTÍNEZ, J. M.V.. **Presentación de una encuesta para la realización de estudios sociales sobre el impacto del ruido urbano.** Revista de Acustica. Vol. XXXIII. nos 1 y 2. Pp 27-31. 2002.

MÖSER M. **Engineering Acoustics An introduction to Noise Control.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 290p. 2004.

MURPHY E., KING E.A. **Strategic environmental noise mapping: Methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directive and their policy implications.** Environment International 36 (2010) 290–298.

NAISH D. A., TAN A. C.C, NUR DEMIRBILEK F. **Estimating health related costs and savings from balcony acoustic design for road traffic noise.** Applied Acoustics 73 (2012) 497–507.

NARDI, A.S.L.V. **Mapeamento Sonoro em ambiente urbano: Estudo de caso: área central de Florianópolis.** Florianópolis. 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Santa Catarina, 162 p.

NEPOMUCENO, L. X. **Acústica Técnica.** 1 ed. São Paulo: Editora Técnico-Científica Industrial Ltd. – ETEGIL, 579 p., 1968.

OBA, L.T. **Cidade grifada: Curitiba e seus eixos estruturais.** Anais do II Encontro da ANPPAS. Campinas: 2004.

OROZCO-MEDINA, M.G., FIGUEROA-MONTAÑO, A. **Urban noise and transport as a strategy of environmental quality,** 2nd Pan-American and Iberian Meeting on Acoustics, 160th ASA meeting, 7º Congress FIA, 17º Congress IMA, ISSN: 0001-4966, Cancún, México, November 2010.

PAZ, E. C. **Estudo de um Modelo de Avaliação e Predição Acústica para o Ruído de Tráfego**. 2004. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal do Paraná, 458p.

PINTO, F.A.N.C. & MARDONES, M.D.M. (2008). **Noise mapping of densely populated neighborhoods - example of Copacabana, RJ, Brazil**, Environmental Monitoring and Assessment.

PINTO, F.A.N.C. **Urban Noise Pollution Assessment Techniques**. In **(Methods and Techniques in Urban Engineering**, Edited by Armando Carlos de Pina Filho & Aloísio Carlos de Pina). Published by In-Tech, May 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA ,**Lei nº 9.800 - Sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba** de 03 de janeiro de 2000.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA – PMC, SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE – SMMA. Lei No. 10.625, de 19 de fevereiro de 2002: **Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público e dá outras providências**. Curitiba, 2002.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Plano Municipal de Mobilidade Urbana e Transporte Integrado de Curitiba – Anexo IIa** Diagnóstico sistema viário, de circulação e de trânsito, 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **Plano Municipal de regularização fundiária em áreas de preservação permanente**, 2007.

OS PERIGOS DA POLUIÇÃO SONORA. .Revista Minas Faz Ciência Nº.1 – Fapemig -, dez.1999/fev.2000. Disponível em: <http://revista.fapemig.br/materia.php?id=171> Acesso em: 09/11/12)

RAMIS J., ALBA J., GARCIA D., HERNÁNDEZ F., **Noise effects of reducing traffic flow through a Spanish city**, Applied Acoustics, Volume 64, Issue 3, March 2003, Pages 343-364

RIBAS, A. **Reflexões sobre o ambiente sonoro da cidade de Curitiba: a percepção do ruído urbano e seus efeitos sobre a qualidade de vida de moradores dos setores especiais estruturais**. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Federal do Paraná, 219p, 2007.

ROMEU J., GENESCÀ M., PÀMIES T., JIMÉNEZ S.. **Street categorization for the estimation of day levels using short-term measurements**. Applied Acoustics 72 (2011) 569–577.

SAADU, A.A.; ONYEONWU, R.O.; AYORINDE, E.O.; OGISI, F.O. **Community Attitudinal Noise Survey and Analysis of Eight Nigerian Cities**. Applied Acoustics. Vol. 49. No. 1. Pp 49-69, 1996.

SANDBERG, U. Road Traffic Noise – **The Influence of the Road Surface and its Characterization**. Applied Acoustics, Sweden, v. 21, p. 97-118, 1987.

SCHULTZ, T. J. **Community Noise** Rating. 2 ed. New York: Elsevier Applied Science, 415 p., 1972.

SCHULTZ, T. J. **Synthesis of social surveys on noise annoyance**. J. Acoustic Society Am. 64(2) pp. 377-405., Aug. 1978

SCHWELA D, KEPHALOPOULOS S, PRASHER D. **Confounding or aggravating factors in noise-induced health effects : Air pollutants and other stressors**. Noise Health 2005;7:41-50

SOUZA, D.S. **Instrumentos de gestão da poluição sonora para a sustentabilidade das cidades brasileiras**. Tese. Programa de pós-graduação de Energia da UFRJ. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004.

T. YANO, T. YAMASHITA, K. IZUMI. **Community response to road traffic noise in Kumamoto**. Journal of Sound and Vibration (1991) 151(3), 487-495.

T.SUBRAMANI, M.KAVITHA, K.P.SIVARAJ **Modelling Of Traffic Noise Pollution**. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) Vol. 2, Issue 3, May-Jun 2012, pp.3175-3182.

TSAI K.T., LIN M.D., CHEN Y.H. **Noise mapping in urban environments: A Taiwan study**. Applied Acoustics 70 (2009) 964–972

UTLEY W. A. **Temporal sampling techniques for the measurement of environmental noise**. Applied Acoustics 15 (1982) 191-203.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (UK). (BERGLUND B.; LINDVALL, T.SCHWELA D.) **Guidelines for community noise..** Disponível em: <<http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf> /> Acesso em: 20 nov 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (UK). Guidelines for Community noise. Edited by Birgitta Berglund, Thomas Lindvall ,Dietrich H Schwela. 161 pages, 1999.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (UK). Résumé d'Orientation des Directives de l'OMS Relatives au Bruit dans l'Environnement. Disponível em: <<http://www.who.int/home.page/>> Acesso em: 20 nov 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (UK). Regional Office for Europe. Environmental noise 326 pages, 2011,

ZANNIN, P. H. T. et. al. **Environmental Noise Pollution in the city of Curitiba, Brazil**. Applied Acoustics, Brazil, v. 63, p. 351-358, 2002b.

ZANNIN, P.H.T.; CALIXTO, A.; DINIZ, F.B.; CALIXTO, A. **Environmental noise pollution in residential areas of the city of Curitiba**, 2001. *Acustica* 2001; 87: 625-628.

ZANNIN, P.H.T., SANT'ANA, D.Q., **Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project – A case study in Brazil**, *Applied Acoustics*, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 479-486.

ZEYNEP D., NEŞE A.. **Noise disturbance caused by outdoor activities— a simulated-environment study for Ali Sami Yen Stadium, İstanbul**. *Environmental monitoring and assessment*. Volume 174, Numbers 1-4 (2011), 347-360.

9 APÊNDICES

Tabulação de dados do trecho 1

PONTO	LEQ MEDIDO	VEÍCULOS LEVES (VL)	MOTOS (M)	VEÍCULOS PESADOS (VP)	VL/HORA	M/HORA	VP/HORA	TOTAL/HORA	% VL	%M	% VP
1	70,9	119	15	20	714	90	120	924	77,3	9,7	13,0
2	70,6	131	10	15	786	60	90	936	84,0	6,4	9,6
3	70,3	123	21	11	738	126	66	930	79,4	13,5	7,1
4	71,6	134	13	16	804	78	96	978	82,2	8,0	9,8
5	69,8	139	18	13	834	108	78	1020	81,8	10,6	7,6
6	70,6	143	16	11	858	96	66	1020	84,1	9,4	6,5
7	69,5	142	23	14	852	138	84	1074	79,3	12,8	7,8
8	71,1	131	17	16	786	102	96	984	79,9	10,4	9,8
9	69,8	171	30	16	1026	180	96	1302	78,8	13,8	7,4
10	71,7	166	27	11	996	162	66	1224	81,4	13,2	5,4
11	70,8	164	13	12	984	78	72	1134	86,8	6,9	6,3
12	68,4	161	13	11	966	78	66	1110	87,0	7,0	5,9
13	70,3	105	14	10	630	84	60	774	81,4	10,9	7,8
14	69,9	97	14	10	582	84	60	726	80,2	11,6	8,3
15	74,9	304	40	22	1824	240	132	2196	83,1	10,9	6,0
16	69,6	118	8	14	708	48	84	840	84,3	5,7	10,0
18	74,7	330	24	29	1980	144	174	2298	86,2	6,3	7,6
19	72,1	385	45	25	2310	270	150	2730	84,6	9,9	5,5
20	76,6	529	60	32	3174	360	192	3726	85,2	9,7	5,2
21	75,3	425	37	33	2550	222	198	2970	85,9	7,5	6,7
22	77	392	31	34	2352	186	204	2742	85,8	6,8	7,4

Continua

PONTO	LEQ MEDIDO	VEÍCULOS LEVES (VL)	MOTOS (M)	VEÍCULOS PESADOS (VP)	VL/HORA	M/HORA	VP/HORA	TOTAL/HORA	% VL	%M	% VP
23	75,2	475	47	37	2850	282	222	3354	85,0	8,4	6,6
24	75,4	407	44	18	2442	264	108	2814	86,8	9,4	3,8
25	75,6	427	53	18	2562	318	108	2988	85,7	10,6	3,6
26	75,1	380	44	21	2280	264	126	2670	85,4	9,9	4,7
27	74,7	434	33	33	2604	198	198	3000	86,8	6,6	6,6
28	74,2	459	36	47	2754	216	282	3252	84,7	6,6	8,7
29	76,5	411	44	37	2466	264	222	2952	83,5	8,9	7,5
30	74,5	438	43	37	2628	258	222	3108	84,6	8,3	7,1
31	71,7	359	42	26	2154	252	156	2562	84,1	9,8	6,1
32	73,9	442	46	31	2652	276	186	3114	85,2	8,9	6,0
33	76,8	418	56	27	2508	336	162	3006	83,4	11,2	5,4
34	73,6	426	44	27	2556	264	162	2982	85,7	8,9	5,4
35	76,3	407	46	18	2442	276	108	2826	86,4	9,8	3,8
36	75,6	377	47	25	2262	282	150	2694	84,0	10,5	5,6
37	74,6	294	20	24	1764	120	144	2028	87,0	5,9	7,1
38	76,3	323	39	24	1938	234	144	2316	83,7	10,1	6,2
39	73,6	235	29	18	1410	174	108	1692	83,3	10,3	6,4
40	73,3	226	25	15	1356	150	90	1596	85,0	9,4	5,6
41	59,4	6	2	1	36	12	6	54	66,7	22,2	11,1
42	65,8	127	11	6	762	66	36	864	88,2	7,6	4,2
43	66	90	11	3	540	66	18	624	86,5	10,6	2,9
44	65,5	39	4	8	234	24	48	306	76,5	7,8	15,7
45	68,2	110	21	12	660	126	72	858	76,9	14,7	8,4
46	73,4	339	55	34	2034	330	204	2568	79,2	12,9	7,9

47 67,7 69 8 3 414 48 18 480 86,3 10,0 3,8

conclusão

PONTO	LEQ MEDIDO	VEÍCULOS LEVES (VL)	MOTOS (M)	VEÍCULOS PESADOS (VP)	VL/HORA	M/HORA	VP/HORA	TOTAL/HORA	% VL	%M	% VP
48	69,9	90	3	7	540	18	42	600	90,0	3,0	7,0
49	66,1	63	3	5	378	18	30	426	88,7	4,2	7,0
50	73,1	144	12	13	864	72	78	1014	85,2	7,1	7,7
51	60	18	1	1	108	6	6	120	90,0	5,0	5,0
52	67,6	88	7	6	528	42	36	606	87,1	6,9	5,9
53	62	9	2	2	54	12	12	78	69,2	15,4	15,4
54	61,4	12	3	1	72	18	6	96	75,0	18,8	6,3
55	59,2	11	1	1	66	6	6	78	84,6	7,7	7,7
56	69,1	145	16	13	870	96	78	1044	83,3	9,2	7,5
57	65,9	37	6	3	222	36	18	276	80,4	13,0	6,5
58	63,4	37	3	1	222	18	6	246	90,2	7,3	2,4
59	63,9	68	1	1	408	6	6	420	97,1	1,4	1,4
60	72,8	110	12	15	660	72	90	822	80,3	8,8	10,9

Tabulação de dados do trecho 2

PONTO	LEQ MEDIDO	VEÍCULOS LEVES (VL)	MOTOS (M)	VEÍCULOS PESADOS (VP)	VL/HORA	M/HORA	VP/HORA	TOTAL/HORA	% VL	%M	% VP
1	72	326	24	14	1956	144	84	2184	89,6	6,6	3,8
2	70,7	301	20	18	1806	120	108	2034	88,8	5,9	5,3
3	73,9	339	20	15	2034	120	90	2244	90,6	5,3	4,0
4	71	379	4	6	2274	24	36	2334	97,4	1,0	1,5
5	74,2	380	9	27	2280	54	162	2496	91,3	2,2	6,5
6	73,8	395	10	22	2370	60	132	2562	92,5	2,3	5,2
7	73	282	14	28	1692	84	168	1944	87,0	4,3	8,6
8	73,8	300	33	14	1800	198	84	2082	86,5	9,5	4,0
9	73,7	270	25	10	1620	150	60	1830	88,5	8,2	3,3
10	66,5	158	9	3	948	54	18	1020	92,9	5,3	1,8
11	73,5	303	17	9	1818	102	54	1974	92,1	5,2	2,7
12	75,2	406	19	20	2436	114	120	2670	91,2	4,3	4,5
13	74,6	339	28	17	2034	168	102	2304	88,3	7,3	4,4
14	71,3	346	21	20	2076	126	120	2322	89,4	5,4	5,2
15	74,6	317	19	15	1902	114	90	2106	90,3	5,4	4,3
16	76	350	22	16	2100	132	96	2328	90,2	5,7	4,1
17	74,2	312	19	17	1872	114	102	2088	89,7	5,5	4,9
18	74,5	330	23	16	1980	138	96	2214	89,4	6,2	4,3
19	71,8	333	39	12	1998	234	72	2304	86,7	10,2	3,1
20	70,7	293	26	25	1758	156	150	2064	85,2	7,6	7,3
21	66	132	3	7	792	18	42	852	93,0	2,1	4,9
22	69,5	161	11	9	966	66	54	1086	89,0	6,1	5,0

Continua

continuação

PONTO	LEQ MEDIDO	VEÍCULOS LEVES (VL)	MOTOS (M)	VEÍCULOS PESADOS (VP)	VL/HORA	M/HORA	VP/HORA	TOTAL/HORA	% VL	%M	% VP
23	68,3	125	3	8	750	18	48	816	91,9	2,2	5,9
24	69,2	126	5	7	756	30	42	828	91,3	3,6	5,1
25	68,4	152	12	6	912	72	36	1020	89,4	7,1	3,5
27	66,5	122	10	4	732	60	24	816	89,7	7,4	2,9
28	66,7	77	5	7	462	30	42	534	86,5	5,6	7,9
29	58	20	4	1	120	24	6	150	80,0	16,0	4,0
30	64,2	55	7	5	330	42	30	402	82,1	10,4	7,5
31	63,6	58	2	1	348	12	6	366	95,1	3,3	1,6
32	65,4	94	7	7	564	42	42	648	87,0	6,5	6,5
33	68,3	97	8	4	582	48	24	654	89,0	7,3	3,7
34	62	15	1	2	90	6	12	108	83,3	5,6	11,1
35	71,8	282	7	12	1692	42	72	1806	93,7	2,3	4,0
36	60	10	1	1	60	6	6	72	83,3	8,3	8,3
37	73,8	200	6	5	1200	36	30	1266	94,8	2,8	2,4
38	59,5	6	1	1	36	6	6	48	75,0	12,5	12,5
39	58,5	4	0	0	24	0	0	24	100,0	0,0	0,0
40	68,9	139	8	8	834	48	48	930	89,7	5,2	5,2
41	62,8	10	1	1	60	6	6	72	83,3	8,3	8,3
42	63,7	5	2	1	30	12	6	48	62,5	25,0	12,5
43	65	15	1	1	90	6	6	102	88,2	5,9	5,9
44	67,4	60	3	1	360	18	6	384	93,8	4,7	1,6
46	64,6	7	1	1	42	6	6	54	77,8	11,1	11,1
47	70	93	8	8	558	48	48	654	85,3	7,3	7,3
48	64,9	70	3	2	420	18	12	450	93,3	4,0	2,7

Continua

PONTO	LEQ MEDIDO	VEÍCULOS LEVES (VL)	MOTOS (M)	VEÍCULOS PESADOS (VP)	VL/HORA	M/HORA	VP/HORA	TOTAL/HORA	% VL	%M	% VP
49	62,1	5	1	1	30	6	6	42	71,4	14,3	14,3
50	60,4	6	1	1	36	6	6	48	75,0	12,5	12,5
51	74,6	121	8	5	726	48	30	804	90,3	6,0	3,7
53	59,5	6	1	1	36	6	6	48	75,0	12,5	12,5
54	71,4	189	15	6	1134	90	36	1260	90,0	7,1	2,9
55	61,1	14	2	1	84	12	6	102	82,4	11,8	5,9
56	67,5	237	14	3	1422	84	18	1524	93,3	5,5	1,2
57	65	5	2	1	30	12	6	48	62,5	25,0	12,5
58	60,2	1	1	1	6	6	6	19	33,3	33,3	33,3
59	67,5	91	5	5	546	30	30	606	90,1	5,0	5,0
60	68,6	92	12	6	552	72	36	660	83,6	10,9	5,5
61	66,2	52	8	1	312	48	6	366	85,2	13,1	1,6

Tabulação de dados do trecho 3

PONTO	LEQ MEDIDO	VEÍCULOS LEVES (VL)	MOTOS (M)	VEÍCULOS PESADOS (VP)	VL/HORA	M/HORA	VP/HORA	TOTAL/HORA	% VL	%M	% VP
1	71,6	233	19	9	932	76	36	1044	89,3	7,3	3,4
2	71,3	213	12	13	852	48	52	952	89,5	5,0	5,5
3	66,2	209	13	15	836	52	60	948	88,2	5,5	6,3
4	73,5	618	56	33	2472	224	132	2828	87,4	7,9	4,7
5	74,4	822	52	26	3288	208	104	3600	91,3	5,8	2,9
6	71,5	756	66	17	3024	264	68	3356	90,1	7,9	2,0
7	73,3	808	79	26	3232	316	104	3652	88,5	8,7	2,8
8	75,6	691	60	18	2764	240	72	3076	89,9	7,8	2,3
9	73,3	794	73	31	3176	292	124	3592	88,4	8,1	3,5
10	75,1	678	60	29	2712	240	116	3068	88,4	7,8	3,8
11	73,0	788	76	7	3152	304	28	3484	90,5	8,7	0,8
12	75,4	288	33	15	1152	132	60	1344	85,7	9,8	4,5
13	69,1	215	16	16	860	64	64	988	87,0	6,5	6,5
14	70,8	172	19	14	688	76	56	820	83,9	9,3	6,8
15	69,2	207	11	19	828	44	76	948	87,3	4,6	8,0
16	75,2	231	20	17	924	80	68	1072	86,2	7,5	6,3
17	64,6	48	4	0	192	16	0	208	92,3	7,7	0,0
18	63,7	48	3	3	192	12	12	216	88,9	5,6	5,6
19	65,8	102	14	1	408	56	4	468	87,2	12,0	0,9
20	68,6	126	9	3	504	36	12	552	91,3	6,5	2,2
21	72,4	481	55	4	1924	220	16	2160	89,1	10,2	0,7
22	68,9	422	28	4	1688	112	16	1816	93,0	6,2	0,9
23	70,2	319	34	15	1276	136	60	1472	86,7	9,2	4,1

Continua

continuação

PONTO	LEQ MEDIDO	VEÍCULOS LEVES (VL)	MOTOS (M)	VEÍCULOS PESADOS (VP)	VL/HORA	M/HORA	VP/HORA	TOTAL/HORA	% VL	%M	% VP
24	69,6	282	30	8	1128	120	32	1280	88,1	9,4	2,5
25	65,2	24	4	0	96	16	0	112	85,7	14,3	0,0
26	63,8	35	2	1	140	8	4	152	92,1	5,3	2,6
27	62,5	68	8	0	272	32	0	304	89,5	10,5	0,0
28	63,1	36	0	0	144	0	0	144	100,0	0,0	0,0
29	70,8	283	23	4	1132	92	16	1240	91,3	7,4	1,3
30	71,3	299	15	2	1196	60	8	1264	94,6	4,7	0,6
31	73,2	470	29	14	1880	116	56	2052	91,6	5,7	2,7
32	71,9	450	46	9	1800	184	36	2020	89,1	9,1	1,8
33	70,6	367	27	6	1468	108	24	1600	91,8	6,8	1,5
34	71,6	342	34	7	1368	136	28	1532	89,3	8,9	1,8
35	64,5	31	5	0	124	20	0	144	86,1	13,9	0,0
36	63,2	19	5	0	76	20	0	96	79,2	20,8	0,0
37	69,1	220	14	7	880	56	28	964	91,3	5,8	2,9
38	63,5	113	15	1	452	60	4	516	87,6	11,6	0,8
39	62,2	52	5	0	208	20	0	228	91,2	8,8	0,0
40	67,4	170	8	2	680	32	8	720	94,4	4,4	1,1
41	72,4	275	30	9	1098	120	36	1254	87,6	9,6	2,9
42	70,2	231	24	6	924	96	24	1044	88,5	9,2	2,3
43	73,4	305	38	9	1218	150	36	1404	86,8	10,7	2,6
44	74,9	450	41	14	1800	162	54	2016	89,3	8,0	2,7
45	72,1	396	54	17	1584	216	66	1866	84,9	11,6	3,5
46	69,8	378	50	14	1512	198	54	1764	85,7	11,2	3,1
47	72,0	306	29	6	1224	114	24	1362	89,9	8,4	1,8

Continua

PONTO	LEQ MEDIDO	VEÍCULOS LEVES (VL)	MOTOS (M)	VEÍCULOS PESADOS (VP)	VL/HORA	M/HORA	VP/HORA	TOTAL/HORA	% VL	%M	% VP
48	71,5	372	30	12	1488	120	48	1656	89,9	7,2	2,9
49	68,0	237	32	5	948	126	18	1092	86,8	11,5	1,6
50	68,3	315	20	9	1260	78	36	1374	91,7	5,7	2,6
51	68,4	332	32	3	1326	126	12	1464	90,6	8,6	0,8

Tabulação de dados do trecho 3

PONTO	LEQ MEDIDO	VEÍCULOS LEVES (VL)	MOTOS (M)	VEÍCULOS PESADOS (VP)	VL/HORA	M/HORA	VP/HORA	TOTAL/HORA	% VL	%M	% VP
1	72,5	124	15	12	744	90	72	906	82,1	9,9	7,9
2	74,3	173	21	6	1038	126	36	1200	86,5	10,5	3,0
3	69,5	129	25	5	774	150	30	954	81,1	15,7	3,1
4	75,0	184	20	6	1104	120	36	1260	87,6	9,5	2,9
5	73,7	190	26	12	1140	156	72	1368	83,3	11,4	5,3
6	74,5	363	59	8	2178	354	48	2580	84,4	13,7	1,9
7	71,2	79	3	8	474	18	48	540	87,8	3,3	8,9
8	73,3	242	25	21	1452	150	126	1728	84,0	8,7	7,3
9	67,3	79	4	6	474	24	36	534	88,8	4,5	6,7
10	66,6	105	6	8	630	36	48	714	88,2	5,0	6,7
11	69,8	83	7	7	498	42	42	582	85,6	7,2	7,2
12	74,0	174	21	17	1044	126	102	1272	82,1	9,9	8,0

Continua

continuação

PONTO	LEQ MEDIDO	VEÍCULOS LEVES (VL)	MOTOS (M)	VEÍCULOS PESADOS (VP)	VL/HORA	M/HORA	VP/HORA	TOTAL/HORA	% VL	%M	% VP
13	61,4	19	2	1	114	12	6	132	86,4	9,1	4,5
14	73,3	183	21	16	1098	126	96	1320	83,2	9,5	7,3
15	64,3	28	1	1	168	6	6	180	93,3	3,3	3,3
16	69,6	103	7	4	618	42	24	684	90,4	6,1	3,5
17	71,2	182	17	17	1092	102	102	1296	84,3	7,9	7,9
18	73,2	177	11	13	1062	66	78	1206	88,1	5,5	6,5
19	70,4	86	8	4	516	48	24	588	87,8	8,2	4,1
20	68,1	109	18	12	654	108	72	834	78,4	12,9	8,6
21	69,0	162	21	14	972	126	84	1182	82,2	10,7	7,1
22	60,9	4	1	1	24	6	6	36	66,7	16,7	16,7
23	72,2	115	12	9	690	72	54	816	84,6	8,8	6,6
24	71,4	77	2	8	462	12	48	522	88,5	2,3	9,2
25	73,1	206	27	16	1236	162	96	1494	82,7	10,8	6,4
26	76,5	229	22	22	1374	132	132	1638	83,9	8,1	8,1
27	70,5	94	9	11	564	54	66	684	82,5	7,9	9,6
28	60,0	4	1	0	24	6	0	30	80,0	20,0	0,0
29	74,2	106	8	13	636	48	78	762	83,5	6,3	10,2
30	69,9	143	9	6	858	54	36	948	90,5	5,7	3,8
31	72,0	159	13	5	954	78	30	1062	89,8	7,3	2,8
32	72,1	185	25	17	1110	150	102	1362	81,5	11,0	7,5
33	71,2	144	15	9	864	90	54	1008	85,7	8,9	5,4
34	58,4	6	0	0	36	0	0	36	100,0	0,0	0,0
35	77,8	475	75	151	2850	450	906	4206	67,8	10,7	21,5
37	56,3	2	0	0	12	0	0	12	100,0	0,0	0,0

Continua

PONTO	LEQ MEDIDO	VEÍCULOS LEVES (VL)	MOTOS (M)	VEÍCULOS PESADOS (VP)	VL/HORA	M/HORA	VP/HORA	TOTAL/HORA	% VL	%M	% VP
38	67,2	30	5	2	180	30	12	222	81,1	13,5	5,4
39	61,5	17	0	0	102	0	0	102	100,0	0,0	0,0
40	69,2	63	10	6	378	60	36	474	79,7	12,7	7,6
41	70,5	102	17	9	612	102	54	768	79,7	13,3	7,0
42	54,2	2	0	0	12	0	0	12	100,0	0,0	0,0
44	59,8	4	0	0	24	0	0	24	100,0	0,0	0,0
45	55,4	5	0	1	30	0	6	36	83,3	0,0	16,7
46	54,7	3	0	0	18	0	0	18	100,0	0,0	0,0
47	60,2	5	0	0	30	0	0	30	100,0	0,0	0,0
48	54,1	2	0	0	12	0	0	12	100,0	0,0	0,0
49	66,2	27	1	7	162	6	42	210	77,1	2,9	20,0
50	72,7	178	21	18	1068	126	108	1302	82,0	9,7	8,3
51	69,8	102	15	4	612	90	24	726	84,3	12,4	3,3
52	72,3	104	20	12	624	120	72	816	76,5	14,7	8,8
53	68,8	89	17	6	534	102	36	672	79,5	15,2	5,4
54	58,2	14	1	0	84	6	0	90	93,3	6,7	0,0
55	58,3	12	1	1	72	6	6	84	85,7	7,1	7,1
56	59,7	23	1	1	138	6	6	150	92,0	4,0	4,0
57	69,6	203	18	16	1218	108	96	1422	85,7	7,6	6,8
58	61,9	26	0	0	156	0	0	156	100,0	0,0	0,0
59	55,0	5	0	0	30	0	0	30	100,0	0,0	0,0
60	57,1	6	0	0	36	0	0	36	100,0	0,0	0,0